

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Návrh vysielacieho uzla pre DVB-T2 sieť**  
**Broadcasting Node Design for DVB-T2 Network**

**2015**

**Bc. et Bc. Jakub Juhas**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jakub Juhas**

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601T013 Telekomunikační technika

Téma:

Návrh vysílacího uzlu pro DVB-T2 síť  
Broadcasting Node Design for DVB-T2 Network

Zásady pro vypracování:

Proces digitalizace zavedením systému DVB-T bezpochyby nekončí. Přejít na systém digitálního televizního vysílání druhé generace (DVB-T2) je otázkou příštích let. Práce si klade za cíl provést stručný popis technologie a topologie, návrh topologie a možných variant řešení Headendu.

Práce splní následující body zadání:

1. Nastudování problematiky a topologie DVB, DVB-T a DVB-T2.
2. Návrh topologie pro Headend DVB-T2 multiplexu.
3. Průzkum trhu a návrh možných řešení Headend DVB-T2.
4. Vyhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

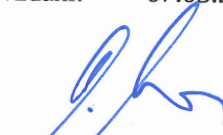
Fischer, Walter *Digital Video and Audio Broadcasting Technology, Signals and Communication Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 2010-01-01, [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-11612-4\\_37](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-11612-4_37), ISBN: 978-3-642-11611-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne zdroje a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 29. apríla 2015

  
.....  
podpis študenta

## **Pod'akovanie**


Rád by som sa pod'akoval Ing. Marekovi Dvorskému, Ph.D. za odbornú pomoc a konzultácie pri vytváraní tejto diplomovej práce.



## **Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby**

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 29. apríla 2015

  
Ing. Jakub Štastný  
Digital Broadcasting s.r.o.

## **Abstrakt**

Cieľom tejto práce je navrhnúť headend vhodný pre celoplošné vysielanie DVB-T2 na území Českej republiky. V práci sú popísané základy pozemného digitálneho vysielania DVB-T a DVB-T2, sprievodné dáta a kompresné metódy obrazu MPEG2, H.264/AVC a HEVC. Druhá časť práce je zameraná na návrh celkovej topológie headendu s rozložením na jednotlivé časti a ich detailným popisom. V tejto sekcii sa nachádzajú blokové schémy kompresie, podmieneného prístupu, štatistickej multiplexácie, SFN adaptácie, ale aj monitoringu obsahu a zariadení. Tiež zahŕňa návrh riešenia elektrického napájania. Tretia sekcia obsahuje prieskum trhu s výberom hlavného sprievodného produktu a uvedením iných variant. Štvrtá sekcia je zameraná na vyhodnotenie dosiahnutých cieľov a návrh finálnej schémy s doplnením konkrétnych produktov.

## **Kľúčová slova**

Distribúcia audia; Distribúcia videa; DVB-T; DVB-T2; Headend; HEVC; H.264/AVC; Kompresia videa; MPEG2; Podmienený prístup; Pozemné digitálne vysielanie; SFN adaptácia; Štatistická multiplexácia;

## **Abstract**

The aim of this work is to design headend suitable for nationwide DVB-T2 network in the Czech Republic. Basics of digital terrestrial broadcast standards DVB-T and DVB-T2 and data compression methods such as MPEG2, H.264/AVC and HEVC are described. The second part is focused on design of overall layout topology for headend, and individual parts and their detailed description. This section contains block diagrams of each part of topology: compression, conditional access, statistical multiplexing, SFN adaptation, as well as monitoring of the content and devices. Also there is draft addressing the power supply for headend. The third section is a market survey selecting the main example of the products and stating their replacements. The fourth section is dedicated to evaluate the achievements and final scheme including the specific products.

## **Key words**

audio distribution; conditional access; DVB-T; DVB-T2; headend; HEVC; H.264/AVC; MPEG2; terrestrial digital broadcasting; video compression; video distribution; SFN adaptation; statistical multiplexing;

## Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
<b>ASI</b>	Asynchronous Serial Interface
<b>ATSC-T</b>	Advanced Television Systems Committee - Terrestrial
<b>AVC</b>	Advanced Video Coding
<b>BAT</b>	Bouquet Association Table
<b>BCH</b>	Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem
<b>CAS</b>	Conditional Access System
<b>COFDM</b>	Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcasting
<b>DVB-C</b>	Digital Video Broadcasting – Cable
<b>DVB-C2</b>	Digital Video Broadcasting – Second Generation Cable
<b>DVB-H</b>	Digital Video Broadcasting – Handheld
<b>DVB-S</b>	Digital Video Broadcasting – Satellite
<b>DVB-S2</b>	Digital Video Broadcasting – Second Generation Satellite
<b>DVBB - SI</b>	DVB - Service Information
<b>DVB-T</b>	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
<b>DVB-T2</b>	Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial
<b>DVB-TS</b>	MPEG Transport Stream pre DVB vysielanie
<b>EIT</b>	Event Information Table
<b>FEC</b>	Forward Error Correction
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>HbbTV</b>	Hybrid Broadcast Broadband TV
<b>HDTV</b>	High Definition Television
<b>HEVC</b>	High Efficient Video Coding
<b>IBC</b>	International Broadcast Conference
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IRMS</b>	Intelligent Redundant Multi Switch

---

<b>ISDB-T</b>	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
<b>LDPC</b>	Low-Density Parity - Check Code
<b>MPEG</b>	Moving Pictures Experts Group
<b>MPEG-TS</b>	MPEG Transport Stream
<b>NAB Show</b>	National Association of Broadcasters Show
<b>NIT</b>	Network Information Table
<b>NMS</b>	Network Monitoring System
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
<b>PAT</b>	Program Association Table
<b>PCR</b>	Program Clock Reference
<b>PES</b>	Packetized Elementary Stream
<b>PID</b>	Packet IDentifier
<b>PLP</b>	Physical Layer Pipes
<b>PMT</b>	Program Map Table
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b>RS FEC</b>	Reed Solomon Forward Error Correction
<b>RST</b>	Running Status Table
<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol
<b>SDI</b>	Serial Digital Interface
<b>SDT</b>	Service Description Table
<b>SDTV</b>	Standard Definition Television
<b>SFN</b>	Single Frequency Network
<b>SFP</b>	Small Form-Factor Pluggable Transceiver
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>SNMP</b>	Simple Network Management Protocol
<b>T2-GW</b>	DVB-T2 Gateway
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TDT</b>	Time and Date Table
<b>TOT</b>	Time Offset Table
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol

---

---

<b>UHDTV</b>	Ultra High Definition Television
<b>UPS</b>	Uninterruptible Power Supply/Source/System
<b>VPN</b>	Virtual Private Network
<b>XML</b>	Extensible Markup Language

---

# Obsah

Úvod.....	- 13 -
1    Problematika DVB, DVB-T a DVB-T2 .....	- 14 -
1.1    DVB-T.....	- 14 -
1.2    DVB-T2.....	- 15 -
1.3    MPEG Transport Stream.....	- 17 -
1.4    DVB-SI .....	- 18 -
1.4.1    PAT – Program Association Table.....	- 19 -
1.4.2    NIT – Network Information Table .....	- 19 -
1.4.3    BAT – Bouquet Association Table.....	- 19 -
1.4.4    SDT – Service Description Table.....	- 20 -
1.4.5    EIT – Event Information Table .....	- 20 -
1.4.6    RST – Running Status Table– tabuľka aktuálneho stavu .....	- 20 -
1.4.7    TDT – Time and Date Table – tabuľka času a dátumu .....	- 21 -
1.4.8    TOT – Time Offset Table– tabuľka časového posunu .....	- 21 -
1.5    HbbTV.....	- 21 -
1.6    Kompresné metódy .....	- 22 -
1.6.1    MPEG-2 a H.264/AVC .....	- 22 -
1.6.2    Kompresný štandard HEVC/H.265/MPEG-H.....	- 22 -
1.6.3    Porovnanie kompresných štandardov .....	- 23 -
1.6.4    Štatistická multiplexácia.....	- 24 -
2    Návrh topológie pre Headend DVB-T2 multiplexu .....	- 26 -
2.1    Požiadavky na realizáciu .....	- 28 -
2.2    Kontribúcia signálu .....	- 29 -
2.3    Kompresia/prekódovanie signálu a štatistická multiplexácia.....	- 31 -
2.4    DVB-SI, EPG a HbbTV .....	- 32 -
2.5    Podmienený prístup a multiplexácia .....	- 32 -
2.6    DVB-T2 GW a SFN adaptácia.....	- 33 -
2.7    Redundancia .....	- 33 -
2.8    IP infraštruktúra.....	- 34 -

2.9	Monitorovanie obsahu.....	- 34 -
2.10	Konfigurácia a monitoring zariadení.....	- 35 -
2.11	Riešenie vzduchotechniky a napájania.....	- 36 -
3	Prieskum trhu a návrh možných riešení DVB-T2.....	- 37 -
3.1	Distribúcia a monitoring SDI.....	- 37 -
3.2	Kompresia/prekódovanie signálu.....	- 38 -
3.3	DVB-SI, EPG a HbbTV.....	- 39 -
3.4	Podmieneny prístup.....	- 39 -
3.5	Multiplexácia.....	- 40 -
3.6	Štatistická multiplexácia.....	- 41 -
3.7	DVB-T2 GW a SFN Adaptácia.....	- 42 -
3.8	IP infraštruktúra.....	- 43 -
3.9	Monitorovanie obsahu.....	- 44 -
3.10	Monitoring zariadení.....	- 45 -
3.11	Riešenie napájania.....	- 46 -
4	Vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov.....	- 47 -
	Záver.....	- 50 -
	Použitá literatúra.....	- 51 -



## Úvod

Nachádzame sa v časovom období implementácie druhej generácie pozemného digitálneho vysielania. Veľa štátov v Európe sa už dlhšiu dobu zaoberá takýmto vysielaním, dokonca niektoré krajiny už začali používať druhú generáciu pozemného digitálneho vysielania. Preto je príprava na prechod z prvej generácie na druhú generáciu nutná. Cieľom tejto práce je pripraviť návrh hlavného vysielacieho uzla označovaného ako headend pre pozemnú digitálnu sieť druhej generácie. V tomto časovom období dochádza aj ku kompletnej transformácii technológie na IP (Internet Protocol), preto pri návrhu sa budú rešpektovať všetky v súčasnosti používané pridávacie rozhrania. Vnútna komunikácia headendu bude prevedená do IP za cieľom zaviesť nový trend a znížiť náklady na realizáciu a údržbu.

Česká republika je hornatá krajina s vysokým počtom kopcov, pohorí a dolín, to neumožňuje pokryť ju nízkym počtom vysoko výkonných vysieláčov. Pre takúto krajinu je vhodné zvoliť viacero stredne a nízko výkonových vysieláčov, čo nám umožňuje regionalizáciu obsahu. Preto pri návrhu headendu budeme uvažovať nad rozdelením Českej republiky do 14 regiónov s možnosťou dopraviť koncovému užívateľovi obsah z regiónu v ktorom sa nachádza. Pretože na území Českej republiky je pozemné vysielanie najčastejším zdrojom televízneho príjmu, bude sa pri návrhu headendu počítať s vysokými nárokmi na kvality a dostupnosť služieb.

V prvej časti práce sa teoreticky oboznámime s pozemným digitálnym vysielaním a jeho druhou generáciou. Tiež spomenieme kompresné metódy MPEG2 (Motion Picture Experts Group), H.264/AVC (Advanced Video Coding) a HEVC (High Efficient Video Coding). Práve kompresná metóda HEVC môže odohrať veľkú rolu v úspore dátového toku, ktorý môže prispieť k zvýšeniu kvality a kvantity poskytovaných služieb.

Druhá časť je venovaná návrhu topológie. Celková bloková schéma je rozdelená do menších jednoduchších blokových schém. Pri návrhu sa počíta s možnosťou vstupu SDI, analógu ako aj už komprimovaného obsahu na IP predávanom rozhraní. Pre ďalšiu úsporu dátového toku sa zahŕňa technológia štatistickej multiplexácie. Táto technológia zdieľania dátového toku medzi jednotlivými televíznymi programami nám umožňuje znižovať dátový tok videa pri zachovaní kvality obrazu. Na základe štúdií aktuálneho stavu zahraničných multiplexov, bola pridaná možnosť podmieneného prístupu.

Ďalšia časť práce je zameraná na trhovú prieskum s výberom reprezentačného zariadenia a možných variant. Výber konkrétnych zariadení bol realizovaný na základe technológie, skúsenosti, referencií v rámci Európskej únie, testov a konzultácie so zastupiteľstvami výrobcov. Posledná, teda štvrtá časť slúži na zhodnotenie výsledkov a kompletizáciu práce do finálnej schémy na základe topológie z druhého bodu a trhového prieskumu, ktorý sa nachádza v treťom bode tejto práce.

# 1 Problematika DVB, DVB-T a DVB-T2

Nachádzame sa v dobe digitálneho televízneho vysielania. Aktuálnym používaným štandardom pre digitálne televízne vysielanie je DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial). Vo svete sa už začína implementovať druhá generácia DVB (Digital Video Broadcasting) pozemného vysielania označovaná ako DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial). Na návrh headendu, DVB-T2, ako prvé budeme musieť porozumieť DVB. MPEG-TS (Moving Pictures Experts Group – Transport Stream) je štandard formátu kontajneru do ktorého sa v digitálnej forme pripraví obsah DVB vysielania. Následne bude spomenuté, ako sa tento transportný stream rozširuje pre použitia v DVB-T a DVB-T2 vysielaní.

## 1.1 DVB-T

Digitálne televízne vysielanie môže byť realizované viacerými spôsobmi (cez satelit, po káblovej sieti atď.) Ako pozemná, alias: terestická, je označovaná varianta, ktorá využíva šírenie signálu voľným priestorom tesne pri zemi (nie cez satelit na obežnej dráhe), zo siete pozemných vysielateľov, s príjmom cez bežnú televíznu anténu (integrovanú či externú), a so zobrazením na bežnom TV prijímači (s pomerom strán 16:9 alebo 4:3). Po technickej stránke je takéto pozemné vysielanie definované štandardom DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial).

DVB-T/T2 však nie je jediný existujúci štandard pozemného digitálneho vysielania. Je používaný najmä v Európe, zatiaľ čo napríklad v Japonsku je používaný systém ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial), a v Severnej Amerike systém ATSC-T (Advanced Television Systems Committee - Terrestrial).

Digitalizácia sa však týka aj ostatných foriem vysielania, napr. satelitného, káblového. Tie vychádzajú z rovnakého základu (sú súhrne označované ako DVB, Digital Video Broadcasting), ale v konkrétnych aspektoch sa predsa len odlišujú. Takže napríklad pre digitálne vysielanie definuje štandard DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) a DVB-S2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Satellite), zatiaľ čo pre digitálne vysielanie v káblových sieťach popisuje štandard DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) a DVB-C2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Cable). Existuje aj varianta, určená pre mobilné zariadenia, predovšetkým mobilné telefóny - ide o štandard DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld) alebo DVB-T2 Lite.

Štandard DVB-T pokrýva fungovanie celého reťazca, ktorý zaisťuje dopravu signálu až ku koncovému prijímateľovi (divákovi), v rámci pozemného vysielania. Rieši napríklad otázky kompresie a zdrojového kódovania, tvar v akom sú digitálne dáta vysielania a rad ďalších vecí. Aby sme si to mohli upresniť, musíme si rozšíriť našu predstavu celého uvedeného reťazca. Na začiatku celého prenosového reťazca sú jednotlivé programy upravené do takej podoby, ktorá je vhodná pre prenos (najskôr sú komprimované tak, aby ich dáta mali menší objem a vystačili i s menšou prenosovou kapacitou). Potom sú tieto dáta „porciované“ na vhodne veľké bloky a tie sú následne zlučované do jedného spoločného celku - súhrnného dátového toku, označovaného častejšie ako tzv. multiplex. Do neho sú pridávané ešte režijné dáta, ďalej dáta pridaných služieb

a aplikácií. Súhrnný dátový tok (multiplex) je potom dopravovaný do siete (pozemných) vysielateľov, ktoré zaisťujú jeho vlastné vysielanie.

Koncový príjemca, ktorý chce digitálne vysielanie prijímať, musí byť vybavený zariadením, ktoré je schopné súhrnný dátový tok (multiplex) zase rozložiť na jednotlivé časti (programy) a zobrazíť ten program, ktorý si užívateľ aktuálne navolil. Túto funkciu zaisťuje DVB-T tuner priamo v televízii alebo externom zariadení (tzv. set-top boxom).

Súhrnný dátový tok (multiplex) je pred svojím vysielaním ešte doplnený o údaje, slúžiace k jeho zabezpečeniu proti chybám. Potom už smeruje k jednotlivým pozemným vysielateľom, ktoré sa starajú o jeho šírenie éterom do svojho okolia. Tu pritom dochádza k jednej významnej odlišnosti od klasického analógového vysielania: analógové vysielateľe, ktoré by vysielali na rovnakých frekvenciách, by sa vzájomne rušili, a preto musia vysielateľ na rôznych frekvenciách. Naopak v prípade digitálneho vysielania nemusí používanie rovnakých frekvencií vadíť, dokonca práve naopak jednotlivé vysielateľe môžu vysielateľ na rovnakých frekvenciách, tvoria tzv. jednofrekvenčnú sieť SFN (Single Frequency Network), a svojím vysielaním sa vzájomne dopĺňujú a prispievajú tak k lepšej kvalite obrazu a zvuku u koncového príjemcu.

To, prečo sa u digitálneho vysielania jednotlivé vysielateľe vzájomne nerušia, ale dopĺňujú, súvisí so spôsobom šírenia signálu, resp. s jeho moduláciou. Štandard DVB-T predpokladá použitie techniky OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Jej podstatou je rozdelenie celého frekvenčného kanálu, ktoré je k dispozícii pre vysielanie (typicky 8 MHz), na väčší počet podstatne užších pásiem- najčastejšie na 6817 deliacich pásiem. Každé z nich je potom využívané k vysielaniu samostatne, a to ako keby „pomaly“ (s pomerne pomaly sa meniacim signálom).[1][9]

## 1.2 DVB-T2

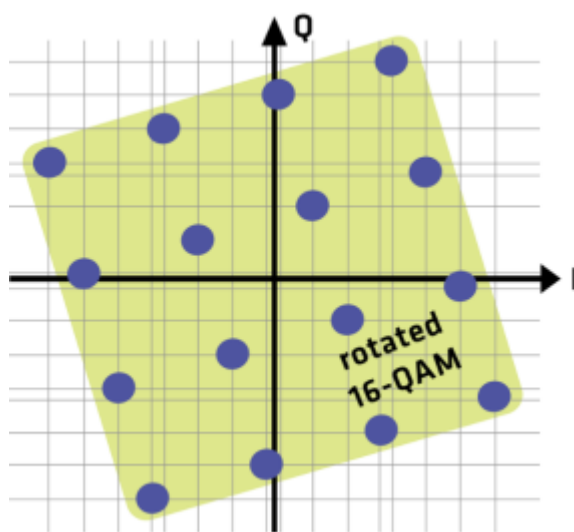
Štandard DVB-T2 je v podstate pokračovateľom technológie DVB-T, rovnako u satelitov vznikol systém DVB-S2 a u digitálnej káblovej televízie DVB-C2. Tie tiež prešli evolúciou a postupne budú nahradzovať svojich predchodcov.

Za najdôležitejšiu výhodu štandardu DVB-T2 sa považuje zvýšenie kapacity dátového toku o viac ako 30%, vylepšenie príjmu signálu v jednofrekvenčných digitálnych sieťach, lepšia podpora mobilných a prenosových prijímačov, apod. Prvým rozdielom oproti DVB-T je zavedenie viacej vstupných dátových tokov, nazývaných PLP (Physical Layer Pipes). Každá z PLP bude môcť niesť iný typ dát: HDTV (High Definition Television), SDTV (Standard Definition Television), mobilný prenos, a každý z nich bude v rámci jedného frekvenčného kanálu modulovaný inou metódou s inou robustnosťou. Prijímač si potom z prijatého signálu vezme len to, čo potrebuje, napr. mobilný prijímač len dáta v QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) modulácií s vysokou robustnosťou a veľkým FEC (Forward Error Correction).

Naopak klasický HD ready televízor, u neho je vysoká náročnosť na objem prenosových dát, si vyberie svoj modulovaný diel 256QAM s nižším FEC. V tomto ohľade teda bude COFDM (Coded OFDM) multiplex v DVB-T2 značne variabilná a modulárna, aby sa prispôbila

viacerým typom príjmu naraz. Počet týchto PLP môže dosiahnuť teoreticky až 256. Každý PLP môže byť modulovaný zvlášť metódou QPSK, 16QAM, 64QAM alebo 256QAM a FFT (Fast Fourier Transform) je variabilný vo veľkostiach 1k, 2k, 4k, 8k, 16k a 32k. Frekvenčné kanály môžu nadobúdať predefinované hodnoty 1,7;5;6;7;8 alebo 10MHz.

Pri modulácii v DVB-T2 je zavedená novinka v podobe tzv. Rotated Constellation Diagram. Princípom je v podstate pootočené štvorcové matice bodov v konštalacnom diagrame. Ak v neotočenom konštalacnom diagrame bolo potrebné pre definíciu jednej hodnoty treba dve hodnoty, I a Q teraz bude stačiť jedna, ukážka na Obrázok 1.1: Ukážka pootočeného konštalacného diagramu [8]. To samozrejme značne zvyšuje nároky na demodulátory, pretože budú musieť rozlíšiť skutočne malé zmeny hodnôt I a Q. [1][8][10]



Obrázok 1.1:

*Obrázok 1.1: Ukážka pootočeného konštalacného diagramu [8]*

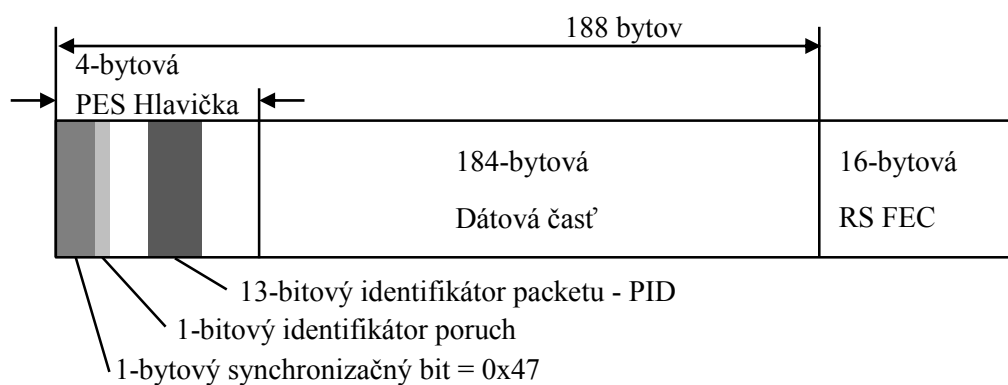
*Tabuľka 1.1: Prehľadná tabuľka porovnania DVB-T a DVB-T2 [1]*

	DVB T2	DVB-T
<b>FEC</b>	LDPC (Low-Density Parity-Check Code), BCH (Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem)	Convolutional Coding, Reed Solomon
<b>Code rate</b>	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
<b>Constellation</b>	QPSK, 16QAM, 64QAM, <b>256QAM</b>	QPSK, 16QAM, 64QAM
<b>Guard Interval</b>	1/4, <b>19/256</b> , 1/8, <b>19/128</b> , 1/16, 1/32, <b>1/128</b>	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
<b>FFT size</b>	<b>1K</b> , 2K, <b>4K</b> , 8K(ext.), <b>16K(ext.)</b> , <b>32K(ext.)</b>	2K, 8K
<b>Scattered pilots</b>	<b>1%</b> , <b>2%</b> , <b>4%</b> , 8% of total	8% of total
<b>Continual pilots</b>	<b>0,35%</b> of total	2,6% of total
<b>Bandwidth</b>	<b>1.7</b> , 5, 6, 7, 8, <b>10</b> MHz	5, 6, 7, 8 Mhz
<b>Max. Bandwidth</b>	50,34 Mb/s	31,66 Mb/s

### 1.3 MPEG Transport Stream

Skratka MPEG sa označuje ako Moving Pictures Experts Group. Obsahom takého streamu sú napríklad televízne stanice, rádiové stanice, sprievodné dáta, ako aj dáta, ktoré nemajú nič spoločné s televíznym alebo rádiovým vysielaním, ako je internet alebo aktualizácia ovládačov prijímacích zariadení a mnoho ďalších. MPEG má viacero definovaných štandardov, pri transporte používanom v DVB sa používa MPEG-2. Na transport sa teda jedná konkrétne o ISO/IEC13818-1 označovanou ako MPEG-2 "Transformation".

MPEG TS sa skladá z balíčkov označovaných ako MPEG-2 transport stream packet (takýto stream je označovaný PES). PES packet vzniká ako 184 bytová užitočná dátová časť s pridaním PES hlavičky, prípadne nepovinného záhlavia slúžiaceho na opravovanie chýb. V DVB sa ako FEC používa Reed Solomon Error Correction (RS FEC) o dĺžke 16 bitov. Takáto dopredaná ochrana je schopná opraviť až 8 chýb v každom packete. Ukážku takého PES packetu nájdete na Obrázok 1.2: Ukážka PES packetu.



Obrázok 1.2: Ukážka PES packetu

Ako je viditeľné na Obrázok 1.2: Ukážka PES packetu, každá hlavička obsahuje identifikátor PID (Packet Identifier). Pomocou PID určujeme, aký obsah sa nachádza v Dátovej časti packetu. Tabuľka 1.2: Ukážka PID číslovania ukazuje niektoré PID používané v DVB. [1]

Tabuľka 1.2: Ukážka PID číslovania [1]

Desiat-kovo	Hexa-decimálne	Popis
0	0x0000	Program Association Table (PAT) - obsahuje PID na tabuľky PMT
1	0x0001	Conditional Access Table (CAT) - obsahuje informácie o podmienenom prístupe
18	0x0010	Network Information Table (NIT) - obsahuje informácie o použitej forme vysielania (DVB-T/T2/S/S2/C/C2)
19	0x0011	Service Description Table (SDT) - obsahuje podrobnosti o jednotlivých programoch

		Bouquet Association Table (BAT) - popisuje spojenie viacerých multiplexov do jedného celku
<b>20</b>	0x0012	Event Information Table (EIT) - slúži ako zdroj informácií pre elektronického programovaného sprievodcu
<b>21</b>	0x0013	Running Status Table (RST) - slúži na prenos informácie o aktuálne prebiehajúcom programe
<b>22</b>	0x0014	Time and Date Table (TDT) - informácia o aktuálnom čase Time Offset Table (TOT) - informácia o časovom posune v danom regióne
<b>32-8186</b>	0x0020-0x1FFA	Môže byť používané PMT (Program Map Table) alebo inými elementárnymi časťami TS ako je video, audio alebo dáta
<b>8191</b>	0x1FFF	Null Packet - packety slúžiace na vyplnenie nevyužitého dátového toku

## 1.4 DVB-SI

Táto sekcia sa venuje SI (Service Information – Informácie o službe). Tieto informácie o službe sú súčasťou MPEG-TS. Poskytujú užívateľovi a užívateľskému zariadeniu potrebné informácie. Napríklad na to, aby prijímacie zariadenie vedelo rozpoznať jednotlivé televízne kanály a nahrávacie zariadenie vedelo nahrávať informácie o čase, aktuálnom programe a mnoho ďalších.

SI špecifikuje jednotlivé tabuľky. Dáta sa pred vložením do dátového toku musia rozdeliť na jednotlivé kusy. Dátové sekcie môžu mať rôznu dĺžku. Maximálna dĺžka segmentu je 1024 bitov, okrem tabuliek EIT (Event Information Table – Tabuľka informácií o udalostiach), ktorá je obmedzená na 4096 bitov.

Každá sekcia je rovnako identifikovaná pomocou kombinácie nasledujúcich identifikátorov:

**table\_id** – ID (jedinečný identifikátor) tabuľky – tento identifikátor definuje, ktorej tabuľke táto sekcia prislúcha. Niektoré ID už boli definované normami ISO alebo ETSI, ostatné ID môžu byť priradené užívateľom. Tieto užívateľsky priradené identifikátory musia byť popísané v sprievodných tabuľkách. Počiatočná sprievodná tabuľka má definovaný identifikátor podľa normy.

**table\_id\_extension** – ID vlozenej tabuľky – identifikátor vlozenej tabuľky

**section\_number** – Číslo sekcie – tento identifikátor umožňuje spätné poskladanie tabuľky podľa jej originálneho poradia, ale je odporúčané vyslať sekcie v číselnom poradí.

**version\_number** – Verzia tabuľky – Pokiaľ v nastavení DVB toku nastanú zmeny, je potrebné, aby boli vyslané nové tabuľky. Preto tabuľky s novými informáciami nesú ďalšie číslo v poradí. To slúži ako informácia pre prijímač, že si musí danú tabuľku prepísať.

current\_next\_indicator – Identifikátor súčasný alebo budúci – tento identifikátor umožňuje odoslanie SI s príznakom nesledujúce. Tabuľky s takýmto identifikátorom slúžia na to, aby sa dekódéri pripravili na zmenu, a akonáhle sa zmenia na tabuľky s príznakom súčasný, aby nastala zmena.

V systéme, kde náhodné pripojenie je bežnou záležitosťou, je odporúčané opakované vysielanie SI, aj keď v SI nenastala zmena. Táto norma špecifikuje minimálny časový interval medzi koncom posledného a začiatkom prvého bloku tabuľky s rovnakými hlavnými identifikátormi spomenutými vyššie, a to 25ms.

Kompletný zoznam týchto tabuliek nájdete v normách a odporúčaniach: ISO/IEC 13818-1 MPEG-2 a DVB-SI, ETS 300468. Pre ukážku a lepšie porozumenie sa niektoré nachádzajú nižšie.[2]

#### 1.4.1 PAT – Program Association Table

Jednou z prvých a pre DVB vysielanie veľmi dôležitých tabuliek je práve tabuľka PAT. Táto tabuľka má definované PID (Packed ID – Identifikátor balíčku informácií) = 0x0, jedná sa teda o prvú tabuľku v poradí. V tejto prvej tabuľke sa nachádza referencia PMT (Program Map Table) pre každý televízny alebo rádiový kanál v danom multiplexe. PMT ďalej odkazuje a popisuje ďalšie PID prislúchajúce určitému kanálu. Takýmto spôsobom sa definuje kompletný obsah kanálu.

#### 1.4.2 NIT – Network Information Table

NIT tabuľka zahŕňa informácie súvisiace s fyzickou štruktúrou siete a charakteristiku siete samotnej. Tak isto obsahuje kombináciu originál\_network\_id (ID siete) a transport\_stream\_id (ID toky informácií v sieti). Pomocou týchto identifikátorov sa dá jedinečne určiť daný tok.

Prijímacie zariadenie by malo byť schopné uložiť si túto tabuľku v rýchlej pamäti, aby bolo schopné rýchlo zmeniť svoje nastavenie pri zmene programu. Tak isto je možné vysielat' aj NIT tabuľku pre iné dátové toky. Táto možnosť pomáha k jednoduchšiemu naladeniu ďalších sietí.

Každá sekcia tabuľky, by mala byť odvysielaná s PID 0x0010. Každá sekcia NIT tabuľky, ktorá popisuje sieť v ktorej je vysielaná, má mať table\_id nastavený na 0x40 a table\_id\_extension na network\_id (Identifikátor siete – pridelujú jednotlivé telekomunikačné úrady). NIT tabuľky, ktoré popisujú iné siete, majú mať nastavený table\_id na 0x41.

#### 1.4.3 BAT – Bouquet Association Table

Táto tabuľka poskytuje informácie o rozšírení siete. Táto tabuľka informuje o spojení viacerých oblastí, za účelom rozšíriť bitový tok siete. PID takejto tabuľky, má byť nastavený na 0x0011. Tieto tabuľky majú mať table\_id = 0x4A. Každá takáto tabuľka, nesie špeciálny identifikátor zloženej siete: bouquet\_id. Tento identifikátor je rovnaký pre všetky spojované siete. Tak isto v obsahu tabuľky nájdeme aj informácie o ďalších sietiach, ktoré sú súčasťou zoskupenia.

#### 1.4.4 SDT – Service Description Table

PID jednotlivých častí tejto tabuľky má byť nastavený na 0x0011 a table\_id pre aktuálnu sieť na 0x42. Táto tabuľka tiež podporuje vysielanie informácií pre ďalšie siete.

Tabuľka, ktorá popisuje obsah TS, definuje jeho jedinečnosť (transport\_stream\_id, original\_network\_id), podľa ktorej sa dá následne sieť vyhľadať v tabuľke NIT. Súčasťou tejto tabuľky sú jednotlivé služby siete. Každá služba obsahuje: Typ služby, názov poskytovateľa služby, názov služby (televízie alebo rádia), service\_id (jedinečné ID služby).

#### 1.4.5 EIT – Event Information Table

Všetky tabuľky EIT by mali mať rovnaké PID = 0x0012. EIT má 4 rôzne špecifikácie, a každej špecifikácii boli pridelené iné table\_id. Tabuľka 1.3: Table ID EIT tabuľky ukazuje jednotlivé možnosti označenia EIT tabuľky.

Tabuľka 1.3: Table ID EIT tabuľky

Table_ID	Popis
0x4E	actual TS, present/following event information
0x4F	other TS, present/following event information
0x50 až 0x5F	actual TS, event schedule information
0x60 až 0x6F	other TS, event schedule information

Actual TS popisujú informácie pre práve prijímaný multiplex pritom Other TS popisujú informácie o ďalších multiplexoch.

Aktuálne/nasledujúce (present/following) nesú informácie o aktuálnej, a nasledujúcej udalosti. Táto časť je pomerne krátka, ale má vysokú frekvenciu opakovania sa. Iné aktuálne/nasledujúce informácie o udalosti slúžia na zrýchlenie prehľadania programov.

Event schedule nesú informácie o plánovaných udalostiach. Obsahujú však aj informácie o udalostiach, ktoré sú plánované na budúcnosť, prípadne minulosť. Táto časť tabuliek EIT je najdlhšia, preto sa jej obsah dá rozdeliť do viacerých častí.

#### 1.4.6 RST – Running Status Table– tabuľka aktuálneho stavu

RST ponúka možnosť urýchleného odosielania zmeny udalosti. Táto situácia môže nastať, ak udalosť začala skôr, alebo neskôr ako mala. Použitie tejto oddelenej tabuľky, slúži na maximálne urýchlenie zmien v programe. Táto tabuľka nesie iba informáciu o running\_status



a event\_id, ktoré odpovedajú informáciám z tabuľky EIT. Tabuľky RST by mali mať PID = 0x0013 a table\_id na 0x71.

#### 1.4.7 TDT – Time and Date Table – tabuľka času a dátumu

Táto tabuľka obsahuje iba informáciu o čase. Pre uloženie informácie používa UTC časovú oblasť. Tabuľky TDT by mali mať PID = 0x0014 a table\_id na 0x70.

#### 1.4.8 TOT – Time Offset Table – tabuľka časového posunu

Tabuľka TOT prenáša informáciu o čase v UTC a lokálnom časovom posune. Táto tabuľka, by mala obsahovať iba jednu sekciu, tak aby nebola rozdelená. Tabuľky TOT by mali mať PID = 0x0014 a table\_id na 0x73. [2]

### 1.5 HbbTV

Ako sa dostávame do novej éry hybridnej televízie prichádza k nám aj v zahraničí používaná technológia HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband TV). Hybridná televízia kombinuje televízne vysielanie so širokopásmovým internetom. Platforma HbbTV zjednocuje výrobcov prijímačov a vysielateľov s cieľom, aby interaktívne služby boli v televíziách rôznych značiek, a divák nemusel pri nákupe televízoru zisťovať, ktorá služba mu bude fungovať, a ktorá nie. Univerzálnosť použitia má zaručiť logo HbbTV.

K príjmu HbbTV užívateľ potrebuje televízny prijímač alebo set-top-box s podporou HbbTV a väčšinou aj pripojenie k internetu. Ponuka služieb HbbTV sa aktivuje stlačením tlačidla na diaľkovom ovládači.

Hybridné televízie zlučujú na obrazovke výhody štandardného televízneho vysielania s možnosťou príjmu akéhokoľvek obsahu šíriteľného po internete. Odkazy na text, fotografie, audio a video môžu byť synchronizované s práve vysielaným programom. Informácie možno priniesť len vo výreze obrazovky, zatiaľ čo divák môže ďalej sledovať aj televízny program. Napríklad pri sledovaní športového zápasu si môže divák vyhľadať priebežné výsledky iných zápasov apod. K jednotlivým programom môžu vzniknúť ďalšie aplikácie, umožňujúce divákovi hlasovať alebo súťažiť. Všetko možno ovládať jednoducho, len diaľkovým ovládačom.

Rozdiel medzi tzv. SmartTV („múdra televízia“) a HbbTV je, že SmartTV je pripojená k internetu, ale to neznamená automatickú podporu HbbTV. Väčšina „Smart TV“ doposiaľ potrebovala špeciálne jednoúčelové aplikácie, tzv. widgety, vyvinuté vždy špeciálne pre určitú značku prijímačov.[4]

Informáciu o službe HbbTV prenáša tabuľka označovaná ako AIT (Application Information Table), jej podrobné znenie sa nachádza v ETSI TS 102 809. V praxi je najčastejšie používaný internetový odkaz kde sa už nachádza zvyšok HbbTV aplikácie. Ďalším riešením je posielanie celú, alebo časť obsahu, prostredníctvom HbbTV odbavovacieho serveru -karuselu, ktorý pravidelne posiela obsah HbbTV aplikácie cez DVB multicast ako prídavné PID označené v AIT. Takýmto spôsobom je možné zistiť, či divák má internetové pripojenie alebo nie. Pokiaľ

divák nemá internetové pripojenie, môže byť informovaný o nutnosti internetového pripojenia, alebo môže využívať iba obsah HbbTV, ktorý sa nachádza priamo v DVB streame. [3]

## 1.6 Kompresné metódy

Digitálny SDTV nekomprimovaný video signál má dátový tok 270Mbit/s, pokiaľ by sme sa pozreli na HDTV rozprávame o dátovom toku väčšom ako 1Gbit/s. Takéto dátové toky sú pre DVB vysielanie príliš veľké. V praxi používanom vysielaní sa musíme dostať s SDTV na dátový tok 0,5-10Mbit/s, a pri HDTV 3-15Mbit/s. Za týmto účelom sa využívajú komprimačné metódy, ktoré nám to vďaka svojej vyspelosti dovoľujú.

Podľa odporúčenia ITU-R 601 sa počíta so vzorkovacou frekvenciou 13,5 MHz pre jasový signál (Y) a 6,75 MHz pre chrominančné zložky signálu (CB,CR). Digitálny signál, ktorý je označený ako 4:2:2 (Y:CB:CR) má teda jasovú vzorkovaciu frekvenciu dvojnásobnú oproti vzorkovacej frekvencii chrominančných zložiek signálu. Dôvodom je nižšia zraková rozlišovacia schopnosť ľudského oka, teda nižšia schopnosť rozlíšiť farebné detaily obrazu v porovnaní s čiernobielym obrazom. Na dve jasové vzorky teda pripadá jedna vzorka CB a jedna CR. V štúdiu sa vyskytuje aj chrominančne neobmedzený formát 4:4:4 s rovnakým počtom všetkých vzoriek a so spoločnou vzorkovacou frekvenciou. S takýmto formátom pracujú profesionálne strihové a iné štúdiové systémy. Pri spracovaní digitálneho signálu sa najčastejšie používa formát vzorkovania 4:2:0, kde sa u chrominančných zložiek vynecháva vzorkovanie každý druhý riadok, tj. vždy jeden riadok vo zvislom smere, ale obidva chrominančné signály sa prenášali súčasne. Takúto vzorkovaciu štruktúru využívajú najmä systémy MPEG. [1][5]

### 1.6.1 MPEG-2 a H.264/AVC

MPEG-2 a H.264/AVC tvoria súčasne používanú generáciu kompresie videa. Technológia H.264/AVC obsahuje približne dvojnásobné zlepšenie účinnosti kompresie, v porovnaní s predchádzajúcou generáciou MPEG-2. Táto schopnosť dostať za rovnakú kvalitu videa s polovičným dátovým tokom. Čo predstavovalo dôležitý technologický potenciál pri spustení HDTV služieb, a to najmä prostredníctvom pozemného vysielania. MPEG-2 a H.264/AVC nasledujú tiež základy architektúry hybridných pohybov kompenzovaných v blokovej transformácii. Líšia sa však v detailoch jednotlivých dielov tejto architektúry: kompenzácia pohybu, blokové transformácie, kódovanie s premenlivou dĺžkou, normy atď. Oba štandardy boli vyvíjané spoločne. Vyvinula ich spoločnosť ISO / IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) a ITU-T Video Coding Experts group (VCEG). MPEG-2 video bolo zverejnené v roku 1995 ako odporúčanie H.262 v ISO / IEC 13818-2 a ITU-T. H.264/AVC bola vydaná v roku 2003 v súlade s technickým odporúčaním ITU-T a ISO / IEC 14496-10 ako H.264. V oboch prípadoch boli štandardy kompresie videa pridané do audio-vizuálneho kódovania štandardu DVB, TS 101 154. [6]

### 1.6.2 Kompresný štandard HEVC/H.265/MPEG-H

Nový kompresný štandard HEVC (High Efficient Video Coding), patrí medzi základné štandardy kódovania obrazu pre televízne vysielanie, ktoré sa objavujú zhruba v desaťročných

intervaloch, pričom účinnosť nového štandardu je obvykle približne dvojnásobná oproti predchádzajúcemu štandardu. Priemyslové zavedenie štandardu sa obvykle uskutočňuje zhruba dva roky po jeho publikácii. Štandard HEVC/H.265/MPEG-H bol publikovaný v apríli 2013, ako ITU-T H.265, a súčasne ISO/IEC 23008-2. Predpokladá sa jeho hlavné uplatnenie pre UHD 1 (4K), a neskôr UHD 2 (8K). Všetky štandardy boli vypracované v spolupráci pracovnej skupiny expertov MPEG- presnejšie ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 a expertov VCEG ITU-T (Video Coding Experts Group). Rovnako ako jeho predchodcovia MPEG-2 a MPEG-4 AVC je HEVC založený na celočíselnej diskretnej kosínovej transformácii DCT, a využíva prakticky rovnaké základné princípy k redukcii bitovej rýchlosti, tj. priestorovú a časovú redundanciu obrazového obsahu, a teda aj signálu. Nová je zvýšená schopnosť pracovať s rôznymi rozmermi blokov (čiastočne zavedenými už v MPEG-4 AVC) a so zlepšenou definíciou pohybových vektorov využívaných k predikcii.

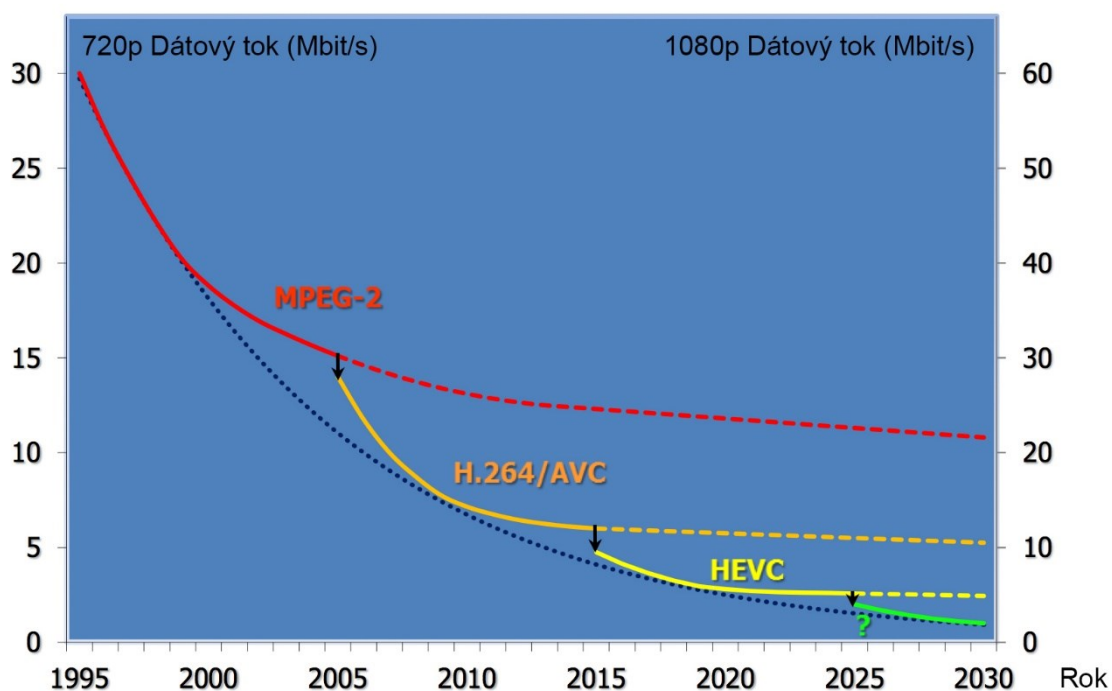
Prvá verzia štandardu podporovala video 4:2:0 so vzorkovaním 8 alebo 10 bitov. V roku 2014 bol štandard rozšírený o formáty 4:2:2, 4:4:4, so vzorkovaním 12 bitov a škálovaním (podobne ako SVC u H.264/AVC).

Ďalšie rozdiely medzi štandardmi HEVC a AVC: vnútro-snímková predikcia (Intra Prediction), umožňuje zvýšiť pôvodných 9 smerových módov na celkom 35 módov. Jasové vzorky možno interpretovať s presnosťou na  $\frac{1}{4}$  pixelu zo 7 hodnôt, alebo na  $\frac{1}{2}$  pixelu z 8 hodnôt. Interpolácia chrominancných vzoriek sa uskutočňuje zo 4 hodnôt. Entropické kódovanie používa len adaptívne kódovanie CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding).

Na IBC 2014 boli zverejnené výsledky porovnania účinnosti štandardu HEVC oproti AVC, vychádzajúce z potrebnej bitovej rýchlosti (AVC $\approx$ 100%) pre rôzne kvalitatívne štandardy: UHD $\approx$ 36%, 1080p $\approx$ 38%. 720p $\approx$ 44%, 420p $\approx$ 48%, celkový priemer 41%. Tým sa potvrdilo, že väčšie úspory bitovej rýchlosti sa dosahujú pri vyšších rozlíšeniach. Vychádzalo sa zo subjektívneho hodnotenia skúšobných testovacích sekvencií, a výsledky prekonal očakávanie v aktuálnom vývojovom štádiu HEVC. Do budúcnosti sa predpokladá ešte lepšia účinnosť. [7]

### 1.6.3 Porovnanie kompresných štandardov

Pohľadom do minulosti vývoja štandardov, sa dá predpokladať príchod ďalšieho štandardu v roku 2025. Ako je vidno na Obrázok 1.3: Historický a predpokladaný vývoj dátových tokov kompresných štandardov pri zachovaní rovnakej kvality videa., od uverejnenia štandardu sa postupne znižoval potrebný dátový tok pri zachovaní kvality obrázku vďaka rôznym prístupom k jednotlivým štandardom. Týmto spôsobom sa dá predpokladať zlepšenie kvality obrazu pri zachovaní rovnakého dátového toku aj pre HEVC. Pre takýto postup je ale potrebné neustále sledovanie daného štandardu a upravovanie použitých zariadení na kompresiu obrazu (Software a firmware). [6]

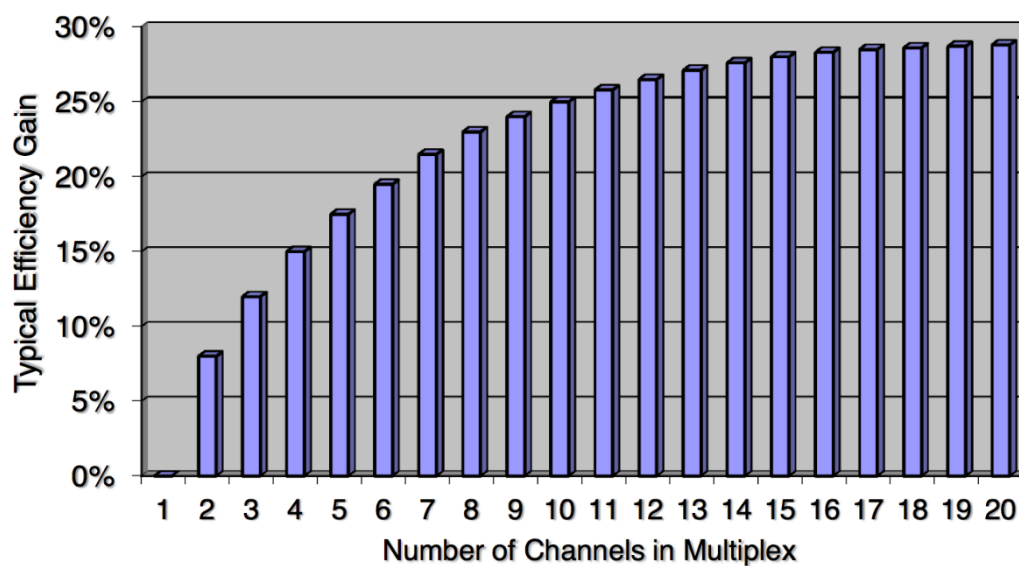


Obrázok 1.3: Historický a predpokladaný vývoj dátových tokov kompresných štandardov pri zachovaní rovnakej kvality videa. [6]

#### 1.6.4 Štatistická multiplexácia

V systéme s konštantným dátovým tokom, má každá služba v multiplexe rezervovanú fixnú šírku dátového toku bez ohľadu na obsah videa. Ak je použitá štatistická multiplexácia, a obrázok je ľahký na enkódovanie, vyhradí sa nižší dátový tok. Jedná sa napríklad o statický záber, alebo málo sa pohybujúci záber - pohľad na novinára. Naopak pre obrázok, ktorý je ťažšie enkódovateľný sa rezervuje dátový tok pre daný kanál vyšší. Jedná sa o scény s veľkou rýchlosťou zmeny, ako je napríklad záznam športovej udalosti počas televíznych novín.

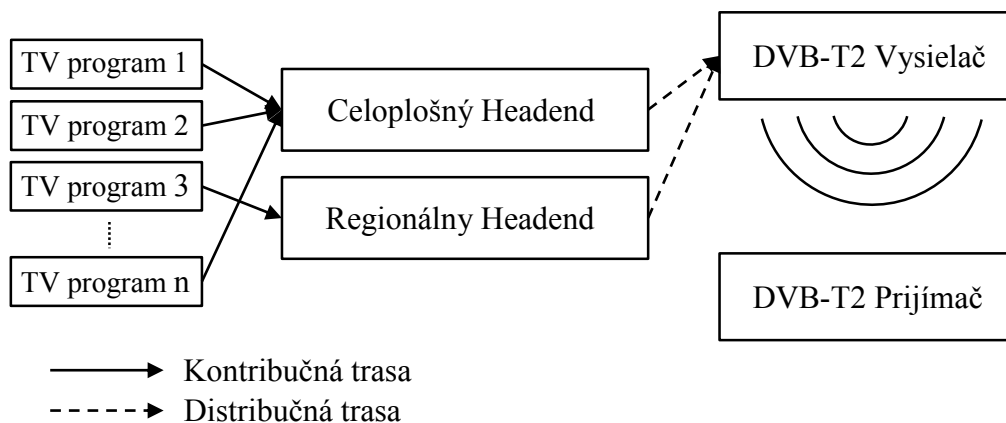
Na základe zdieľania dátového toku multiplexu sa môže zvyšovať efektívnosť enkódovania a to s narastajúcim počtom programov. Pretože sa jednotlivé požiadavky, na maximá a minimá dátového toku, rozložia medzi viacero kanálov. Závislosť takejto efektivity nájdete na Obrázok 1.4: Závislosť efektivity štatistickej multiplexácie na počte televíznych programov v multiplexe. Nárast efektívnosti enkódovania závisí tiež od výberu kompresného algoritmu, pôvodu obsahu obrazu a detailného nastavenia implementácie štatistickej multiplexácie.



Obrázok 1.4: Závislosť efektivity štatistickej multiplexácie na počte televíznych programov v multiplexe. [6]

## 2 Návrh topológie pre Headend DVB-T2 multiplexu

Pred návrhom headendu DVB-T2 multiplexu je potrebné si v jednoduchosti predstaviť topológiu celej DVB-T2 siete. Takúto topológiu nájdete na Obrázok 2.1: Zhrnutá topológia DVB-T2.

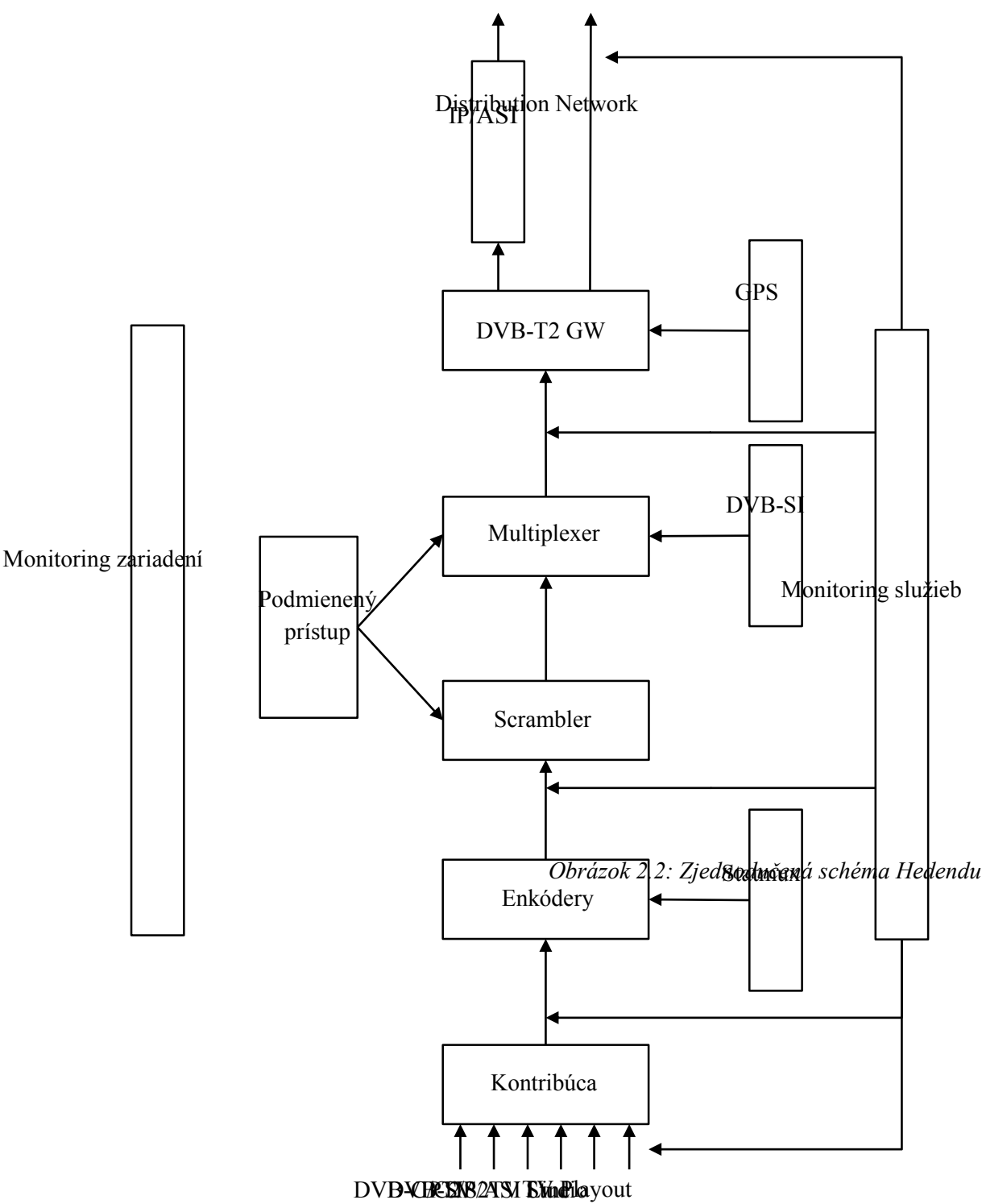


Obrázok 2.1: Zhrnutá topológia DVB-T2

Regionálny headend nie je nutnou súčasťou DVB-T2 siete, slúži ako zdroj prípadných regionálnych služieb. V praxi je tento regionálny headend často spojený s celoplošným headendom, prípadne je požadovaný headend pripravený priamo na lokalite dodávateľa obsahu. Pokiaľ by regionálna zložka obsahovala viacero služieb od rôznych dodávateľov je možné umiestniť tento headend aj priamo na lokalitu vysielača. Regionálny headend je odvodený od celoplošného headendu s obmedzenou funkcionalitou, za účelom zníženia nákladov.

Kontribučné trasy zabezpečujú prenos od dodávateľa služieb až k poskytovateľovi DVB T2 vysielania. Tieto kontribučné trasy môžu byť realizované viacerými spôsobmi.

Distribučné linky prenášajú T2-MI (Modulator Interface Protocol) na jednotlivé vysielače. Modulátor na vysielači je schopný prijať viacero T2-MI a následne ich odvyselať. Štandard DVB-T2 umožňuje vyselať každý T2-MI s rôznym nastavením. Pri príprave T2-MI je dôležité zahrnúť aj SFN adaptáciu.



Obrázok 2.2: Zjednotená schéma Headend

Ešte pred tým, ako sa dostaneme k podrobnostiam o jednotlivých častiach headendu, je potrebné si uvedomiť, že sa stále nachádzame v období, kde sa technológia výrazne mení. V dátovej časti sa jednalo skôr o ASI (Asynchronous Serial Interface) a prechádzame na IP infraštruktúru. ASI sa ťažko prenáša na dlhé vzdialenosti, preto na dlhé vzdialenosti je prevádzané na IP. Zase v rámci headendu bol zvyk pracovať s ASI a mať oficiálne dátové rozhranie, na ktoré sú technici zvyknutí. S pribúdajúcim počtom zdrojov a potrebných úprav, práca s ASI výrazne zvyšuje finančné náklady. Aj z tohto dôvodu sa prechádza na IP, ktorá je používaná v mnohých odvetviach, a teda jej cena klesá. Dokonca oproti DVB-T už DVB-T2 technológia nie je závislá na ASI, ale komponenty v DVB-T2 reťazci vedú pracovať priamo v IP. Týmto spôsobom sa odstraňuje prevodník ASI do IP na vstupe do distribučnej trasy, a prevodník IP do ASI na výstupe distribučnej trasy. Budič vysielača už musí obsahovať technológie schopné pracovať s IP, prípadne buffer na odstránenie network jitter, prijímanie RTP (Real-time Transport Protocol) a opravu signálu pomocou FEC. Zatiaľ je väčšina zariadení vybavená na podporu UDP (User Datagram Protocol) prípadne RTP cez UDP. Do budúcnosti sa dá predpokladať zvýšenie používania TCP (Transmission Control Protocol) spojení.

V televíznej technológii sme boli zvyknutí pracovať s SDI (Serial Digital Interface) signálom a postupne prechádzame na MPEG-TS obsahujúci komprimovaný SDI signál (často bezstratovou kompresiou). Tento MPEG-TS môže byť prenášaný po ASI alebo IP. Ako už bolo spomenuté vyššie, smeruje sa k používaniu IP technológií. Táto zmena je aktuálne v procese, preto pri návrhu topológie budeme prioritizovať MPEG-TS cez IP.

V rámci návrhu Headendu budeme počítať so zdrojmi v rôznych formátoch, prácou s IP signálom v rámci headendu a na výstup pridávame prevodnú IP na ASI, pre prípad, že už máme distribučnú trasu ASI.

### 2.1 Požiadavky na realizáciu

Pred návrhom topológie jednotlivých bodov Headendu je potrebné definovať si, čo všetko bude tento headend schopný ovládať.

- 14 rôznych regionálnych oblastí a 1 celoštátnu oblasť
- Pre celoplošné TS-MI:
  - 6 SDTV (Standard Definition Television)
  - 4 HDTV (High Definition Television)
  - 2 UHDTV (Ultra High Definition Television)
  - 4 rádiové stanice
  - Štatistická multiplexácia
  - Podmienený prístup
  - Možnosť príjmu príspevkov v IP streame, SDI alebo audio v analógovej/digitálnej forme
- Pre Regionálne TS-MI podporu vkladania už komprimovaných 2 SDTV
- Možnosť kompresie video: MPEG-2, H.264 a HEVC,
- Možnosť kompresie audio: MPEG-1, AAC, Dolby Digital

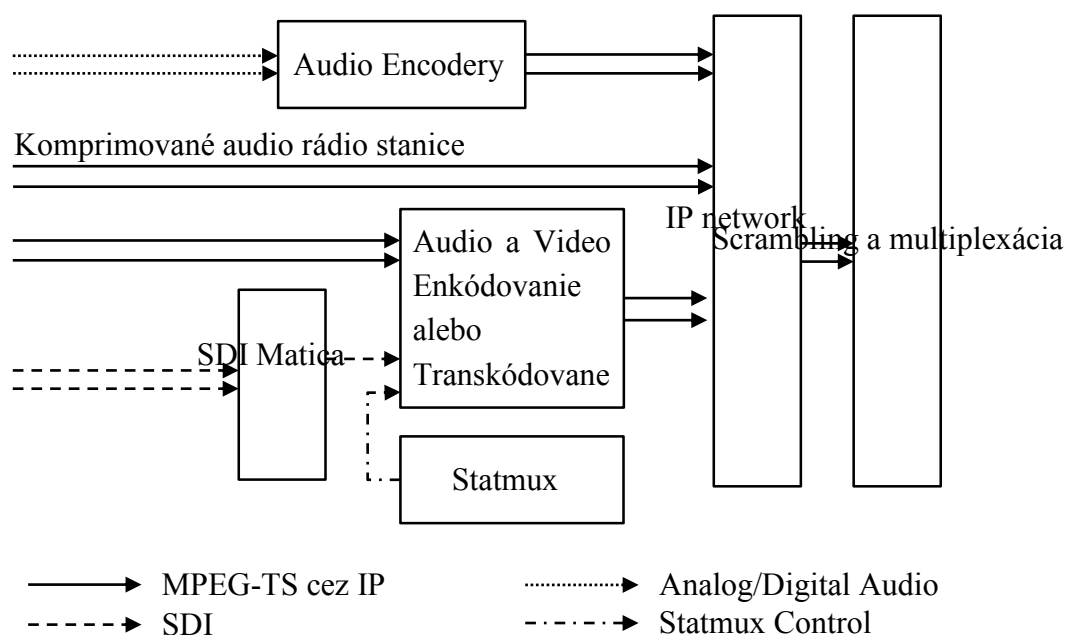


- SFN adaptácia
- 2x výstup na IP rozhraní aj ASI rozhraní pre rôzne redundantné distribučné trasy
- Generovanie DVB-SI s možnosťou vstupu IP dátového toku a jeho vyhladenie
- HbbTV Karusel
- Zálohovanie elektrického napájania
- Monitoring signálu na vstupe, v procese a na výstupe headendu
- Redundancia pre zariadenia nevyhnutných na chod headendu
- Pri prieskume trhu uviesť jedno hlavné riešenie a aspoň jednu dostupnú variantu zariadení použitých na realizáciu hlavnej varianty

## 2.2 Kontribúcia signálu

Kontribúcia signálu slúži na dopravu signálu od dodávateľa služby (televízneho programu, rádia alebo dodávateľa dátovej služby) do headendu na prípadné ďalšie spracovanie signálu alebo priame vloženie do multiplexu. V praxi existuje obrovský počet spôsobov ako môže byť kontribučná trasa realizovaná.

Poskytovateľ DVB-T2 služieb často ponúka aj služby odbavovacie (playoutové). Teda samotný signál vzniká v priestoroch poskytovateľa, a teda jeho doprava je jednoduchá. Často sa teda jedná priamo o SDI signál, alebo video zakódované v IP MPEG-TS streame s vysokým dátovým tokom (Záleží na tom aká je odbavovacia technika a technológia používaná v sekcii 2.3 Kompresia/prekódovanie signálu a štatistická multiplexácia. Pre rádiové stanice je situácia obdobná, ide o nekomprimované audio v digitálnej, alebo analógovej podobe. Často býva ako výstup rádiovkej stanice priamo MPEG-TS cez IP, prípadne ASI. Ukážka riešenia takejto lokálnej distribúcie je na Obrázok 2.3: Zjednodušená topológia lokálnej kontribúcie. Na obrázku je



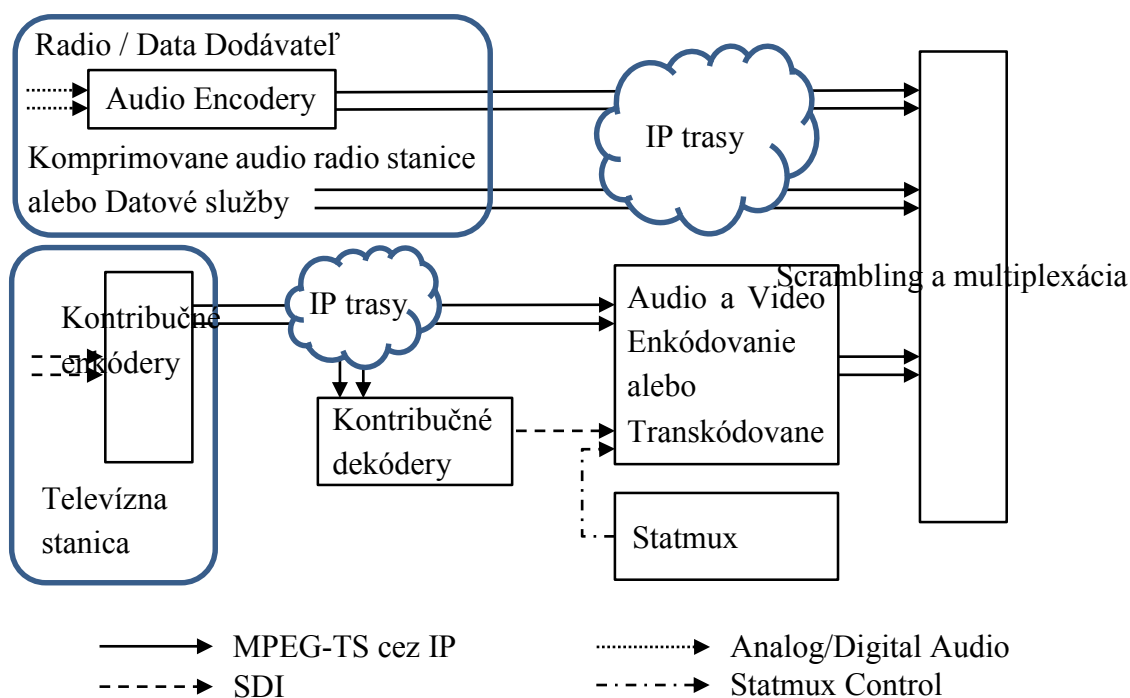
Obrázok 2.3: Zjednodušená topológia lokálnej kontribúcie

znázornená aj možnosť redundancie pripojenia. V praxi a 24/7 hodinovom vysielaní je redundancie vyžadovaná.

Pri dátových službách bývajú na strane dodávateľa 2 rôzne predávacie rozhrania. Buď je to ASI alebo IP. Napríklad na ethernetovom RJ45. Tento signál sa ďalej preniesie do headendu do streamovacej siete.

Diaľková kontribúcia rádiových služieb je pomerne jednoduchá. Na strane rádia sa nachádza audio enkóder. Pretože rádiové stanice sa štandardne nenachádzajú v štatistickej multiplexácii, nie je potrebné dodávať nekomprimovaný signál, a teda enkódovanie môžeme realizovať na strane dodávateľa a ďalej len prepraviť MPEG-TS po IP až ho switchov Headendu.

TV kontribúcia nám ponúka viacero možností. Kanál, pre ktorý nie je potrebná štatistická multiplexácia môžeme enkódovať už na strane televíznej stanice, a teda znížime nároky na kontribučnú trasu. Na druhej strane pokiaľ chceme zaradiť televízny program do štatistickej multiplexácie, je potrebné ho doručiť na lokalitu headendu v čo najvyššej kvalite. Za týmto účelom sa používajú kontribučné enkóbery, ktoré komprimujú signál bez straty kvality, alebo s minimálnou stratou kvality. Na strane headendu sa môže, ale nemusí nachádzať kontribučný dekóder do SDI. Zjednodušená schéma sa nachádza na Obrázok 2.4: Zjednodušená topológia vzdialenej kontribúcie.



Obrázok 2.4: Zjednodušená topológia vzdialenej kontribúcie

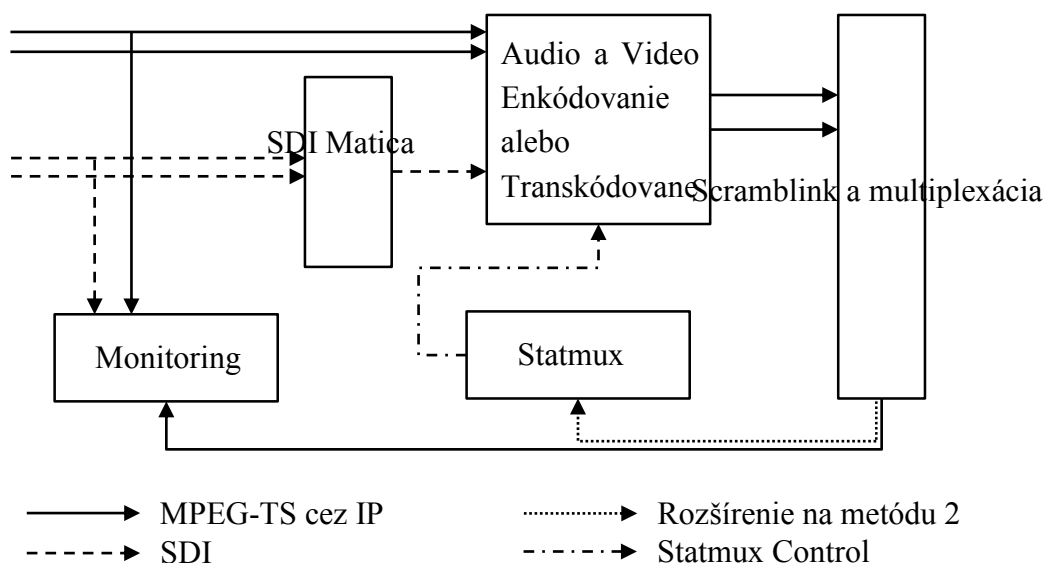
## 2.3 Kompresia/prekódovanie signálu a štatistická multiplexácia

Akonáhle máme zdrojový signál dopravený do headendu, je potrebné ho upraviť na dátový tok, a kompresiu ktorá je vhodná pre DVB-T vysielanie. Pri DVB-T2 multiplexoch budeme využívať štatistickú multiplexáciu. Enkóдеры s SDI vstupom sa v poslednej dobe vymieňajú za transkóдеры s IP a MPEG-TS vstupom. Ako postupne odchádza SDI, zvyšuje sa prenos videa v komprimovanom formáte. Takto komprimované video nemusí trpieť na kvalite obrazu. Existujú bezstratové (lossless) kompresné metódy, prípadne malá kompresia pri vysokom dátovom toku.

Ako už bolo načrtnuté v kontribúcii, niektoré kanály bývajú enkódované už na strane televízií, jedná sa o kanály ktoré nie sú zaradené do štatistickej multiplexácie. Zatiaľ sa v praxi nepoužíva štatistická multiplexácia na veľké vzdialenosti. Dá sa konštatovať, že s pokrokom technológie a znížením oneskorenia na veľké vzdialenosti sa zavedie aj táto štatistická multiplexácia.

Existuje viacero metód štatistickej multiplexácie. Prvá metóda: vyhradí sa dátový tok pre štatistickú multiplexáciu z celkového dátového toku multiplexu, a v rámci toho okna dátového toku sa vykonáva štatistická multiplexácia. Takáto metóda je najviac používaná v súčasnosti. Jej nevýhodou je zväčšená rezerva na vysielanie.

Podstatou druhej metódy je dynamická veľkosť okna pre štatistickú multiplexáciu videa. Veľkosť okna určuje multiplexer, podľa aktuálneho dátového toku. Vzniká ďalšie oneskorenie, ktoré vzniká výpočtom voľného miesta v multiplexe. Následne multiplexer tento údaj odovzdá zariadeniu na štatistickú multiplexáciu, a ono enkóderom/transkóderom prerozdelení dátový tok. Na trhu sa objavuje viac a viac výrobcov implementujúcich túto metódu. Na Obrázok 2.5: Topológia enkódovania/transkondovania a štatistickej multiplexácie je ukázané potrebné rozšírenie pre druhú metódu.



Obrázok 2.5: Topológia enkódovania/transkondovania a štatistickej multiplexácie

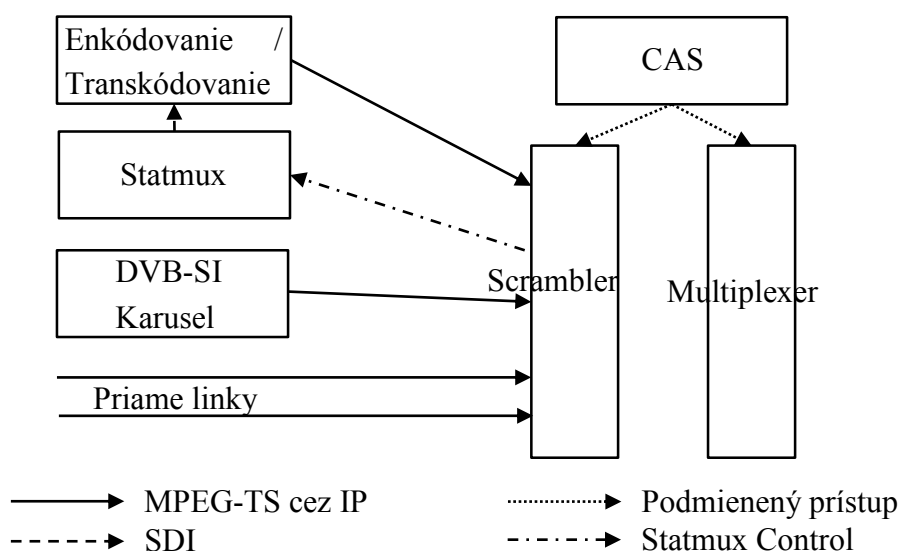
## 2.4 DVB-SI, EPG a HbbTV

Okrem videa a audia, sú v multiplexe potrebné aj sprievodné dáta. Medzi tieto dáta patrí DVB-SI, EPG HbbTV a mnoho ďalších. Pre tieto účely štandardne slúži DVB-SI odbavovacie zariadenie prípadne, HbbTV karusel. Tieto generátory bývajú často zjednotené do jedného zariadenia. V podmienkach Českej republiky, je dobré mať podporu vstupu EPG do generátora DVB-SI a EPG. Táto podpora slúži na vyrovnanie ne-konštantnosti dátového toku DVB-SI od dodávateľov. S veľkou ne-konštantnosťou dátového toku je spojená nutnosť vytvárania dátovej rezervy v rámci dátového toku multiplexu. Pokiaľ by nebolo potrebné upravovať dátový tok dodávaného EPG, nebol by potrebný vstup EPG, pretože väčšina multiplexerov na trhu podporuje mať EPG z viacerých zdrojov.

## 2.5 Podmienенý prístup a multiplexácia

Existuje domnienka, že DVB-T2 vysielanie bude z veľkej časti podmienené. Preto je potrebné počítať s nutnosťou zahrnutia aj šifrovacieho zariadenia v rámci headendu DVB-T2. Šifrovanie však nie je podmienkou, a môže byť preskočené.

Šifrovanie je riadené pomocou CAS (Conditional Access System). Takýto systém následne určuje, ktorý PID má byť šifrovaný, a ktorý nie. Okrem tejto informácie CAS spolupracuje s multiplexerom a vysiela ďalšie značky, ako sú informácie, ktorý kanál je kódovaný a ktorý nie, údaje o aktivácii prijímacieho zariadenia/karty, pomocné údaje, upgrade jednotlivých de-šifrovacích zariadení a pomocné údaje pre prijímacie zariadenie. V CAS býva zaintegrovaná správa povolených zariadení/kariet a obsahu ktoré môžu dešifrovať. Bohužiaľ DVB-T2 je len jednosmerná komunikácia, preto musia byť CAS systémy dostatočne zabezpečené pred nepovoleným používaním.



Obrázok 2.6: Scrambling a multiplexácia

Ďalej nasleduje samostatná multiplexácia, v ktorej sa stretnú všetky televízne programy, rádiové stanice a dátové služby a pripraví sa MPGS-TS označovaný ako DVB-TS pripravený na zabalenie a následné odoslanie na vysielateľ.

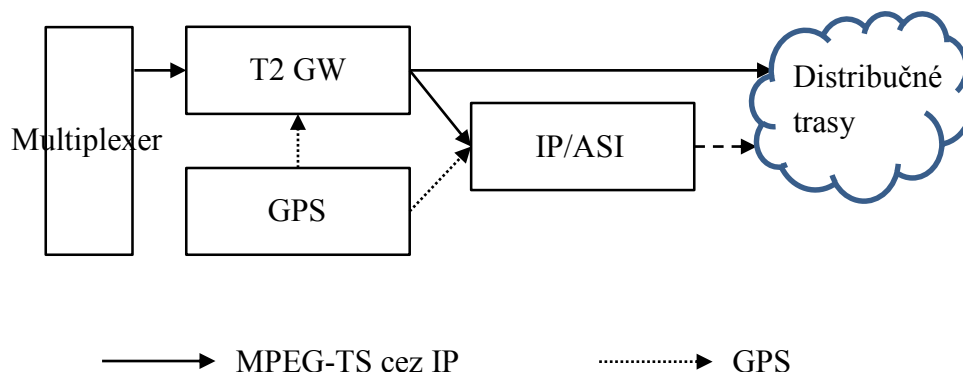
V praxi má multiplexer často integrovaný šifrovací algoritmus, ktorý riadi CAS a teda nie je potrebné ďalšie zariadenie.

## 2.6 DVB-T2 GW a SFN adaptácia

Dostávame sa na posledný krok dát v rámci headendu. K MPEG-TS je potrebné už iba dodať časové značky a zabaliť do T2-MI balíčka. Na takúto prípravu sa používajú zariadenia označované ako T2-GW(DVB-T2 Gateway).

Pre vloženie časovej značky je potrebné dodať kvalitný zdroj času replikovateľný na lokalite vysielateľa s vysokou presnosťou. Za týmto účelom sa používa GPS. Existujú zariadenia, ktoré majú GPS prijímač priamo zabudovaný v sebe.

Pre prípad potrebného ASI výstupu, sa na koniec reťazca môže pripojiť prevodník IP do ASI. Týmto je úprava dát na headende ukončená a odosiela sa na ďalšiu distribúciu na vysielateľ, a následne k príjemcovi. Na Obrázok 2.7: DVB-T2 GW a SFN adaptácia nájdete ukážku topológie finálneho kroku.



Obrázok 2.7: DVB-T2 GW a SFN adaptácia

## 2.7 Redundancia

V predchádzajúcich kapitolách nebola riešená redundancia. Pri vysielaní 24/7 365 dní v roku je potrebné dosahovať vysokej dostupnosti služieb. Na dosiahnutie vysokej dostupnosti služieb je nutné zabezpečiť redundanciu na kľúčových prvkoch. Pre celoštátny headend je to výrazne dôležitejšie pretože každý malý výpadok bude postihovať celé územie pokrývané multiplexom pre ktorý je daný headend určený.

Na riešenie redundancie sa používajú nasledujúce automatické metódy redundancie:

- Redundancia 1+1, takáto redundancia pridáva ešte jedno totožné zariadenie. V prípade, že je vždy aktívne iba jedno zariadenie označujeme to neaktívne ako stand-by.

Aktivácia takéhoto zariadenia môže prebehnúť na základe monitorovania aktívneho zariadenia a jeho poruchy, prepnutím NMS (Network Monitoring System) alebo manuálnou aktiváciou. Tento typ redundancie je vhodný pre zariadenia, ktoré nepotrebujú viacnásobnú aplikáciu. Príkladom takéhoto zariadenia bývajú DVB-SI generátory, multiplexery, IP switche a ďalšie.

- Redundancia N+1, viacero zariadení je aktívne používaných, ale existuje jedno zariadenie pripravené na prevzatie činnosti niektorého z ostatných. Pre automatizovanie redundancie N+1 sa používajú špeciálne skripty na NMS, ktorý kompletne zmení konfiguráciu náhradného zariadenia, ak je potrebné upraviť aj konfiguráciu ďalších zariadení v reťazci. Tento typ redundancie sa často používa na enkodéry.
- Redundancia M+N, funguje na podobnom princípe ako N+1, ale nemáme len jedno ale viacero zariadení pripravených prevziať činnosť aktívneho zariadenia. Redundanciu M+N môžeme najčastejšie stretnúť v prípade enkóderov, T2-GW a ďalších.
- Vnútna redundancia. Existuje viacero výrobcov ktorí upravujú svoje zariadenia na možnosti automatickej vnútornej redundancie. Takéto zariadenia zvyknú mať redundantné operačné moduly ktoré zdieľajú spoločné fyzické rozhrania. Na vnútornej inteligencii zariadenia potom zostáva prepnutie z chybného modulu na modul náhradný. Takáto zmena prebieha priamo v rámci jedného zariadenia. Nevýhodou takéhoto typu redundancie je možnosť poruchy na fyzickom rozhraní, preto tieto fyzické rozhrania tiež bývajú duplikované, ak to úloha zariadenia dovoľuje. Táto redundancia sa často používa pre SDI matice, transkódery a podobne.

## 2.8 IP infraštruktúra

IP infraštruktúru je potrebné rozdeliť do 5 počítačových sietí. Prvá počítačová sieť by bola zameraná na administráciu a monitoring zariadení. Táto sieť býva pripojená do internetu pre vzdialený prístup, zahŕňa technológie na vzdialený prístup ako je VPN (Virtual Private Network). Pre potreby administratívnej siete bude postačujúca rýchlosť siete 100Mbit/s.

Ďalšie dve siete budú určené pre tok streamu v rámci headendu a pripojenie kontribučných liniek. Sieť musí podporovať multicast, jej rýchlosť musí byť minimálne 1Gbit/s. Je vhodné, aby tieto dve siete bežali paralelne pre zabezpečenie redundancie. Posledné 2 siete sú potrebné za výstupom multiplexeru. Tieto 2 siete budú poskytovať MI-TS pakety.

## 2.9 Monitorovanie obsahu

Okrem úpravy samotného signálu a jeho multiplexácie je potrebné pozrieť sa aj na stránku servisu dohľadu a monitorovania. V ďalšej sekcii sa nachádza monitorovanie zariadení, tu sa pozrieme na monitorovanie signálu. Pre účely monitorovania a zisťovania porúch je dobré sledovať trasu signálu od začiatku až po koniec. Pred tým ako príde signál od zákazníka ho nevieme jednoducho monitorovať, potrebovali by sme ďalšie prenosové trasy.

Monitoring audia a videa často začína práve na pridávacom rozhraní kontribúcie. Na tomto rozhraní sa nachádzajú zdroje na rôznych prenosových médiách ako je SDI, audio v analógovej alebo digitálnej podobe a MPEG-TS cez IP alebo ASI (Asynchronous Serial Interface). Je vhodné monitorovať každé jedno z týchto médií a pre každú trasu. Takýmto spôsobom detegovať poruchy aj na záložných/redundantných trasách, ktoré aktuálne nie sú používané. V tomto štádiu je ideálne monitorovať vlastnosti ako je výpadok trasy, zmrznutý obrázok, hlasitosti, vlastnosti prijatého signálu a mnoho ďalších.

Situácia za enkodérmi, generátormi a neupravovanými prenosovými trasami sa zjednodušuje a prechádzame na MPEG-TS cez IP alebo ASI. Za týmto účelom sa dajú použiť prevodníky ASI do IP alebo opačným smerom a môže používať monitorovací systém založený na jednej platforme. V tomto bode je dobre kontrolovať dátové toky aby nedošlo k pretečeniu dátového toku multiplexu, DVB identifikátory, komprimačné metódy, rozlíšenia, prítomnosť sprievodných dát a mnoho ďalšieho.

Posledným krokom monitorovania je výstup z T2-GW a po prevodníkoch IP do ASI. Táto fáza sa považuje za najpodstatnejšiu lebo sa jedná o finálny výstup headendu multiplexu. Je potrebné monitorovať celkový dátový tok, prítomnosť a korektnosť značiek, správne priradenie jednotlivých elementárnych streamov, veľkosť rezervy v dátovom toku, synchronizáciu s GPS a mnoho ďalších.

Ďalším krokom monitoringu obsahu je vybraná vzorka lokalít v rámci pokrytia s prijímačom na kontrolu príjmu. Tento monitoring ale nie je súčasťou tejto diplomovej práce.

Pre jednoduché zisťovanie poruchy sa často k monitoringu priradzuje aj nahrávanie signálu. Okrem reportu z logu porúch, SNMP (Simple Network Management Protocol), emailových správ, prípadne SMS (Short Message Service) je dobré mať aj nahrávky z jednotlivých sekcií. Veľké množstvo monitorovacích zariadení vie vďaka buffrovaniu obsahu spraviť nahrávku začínajúcu pár sekúnd pred vznikom chyby a končiacu pár sekúnd po uplynutí chyby. Ďalej sa finálny výstup headendu vznikne nahrávať celý, po dobu niekoľkých dní.

### 2.10 Konfigurácia a monitoring zariadení

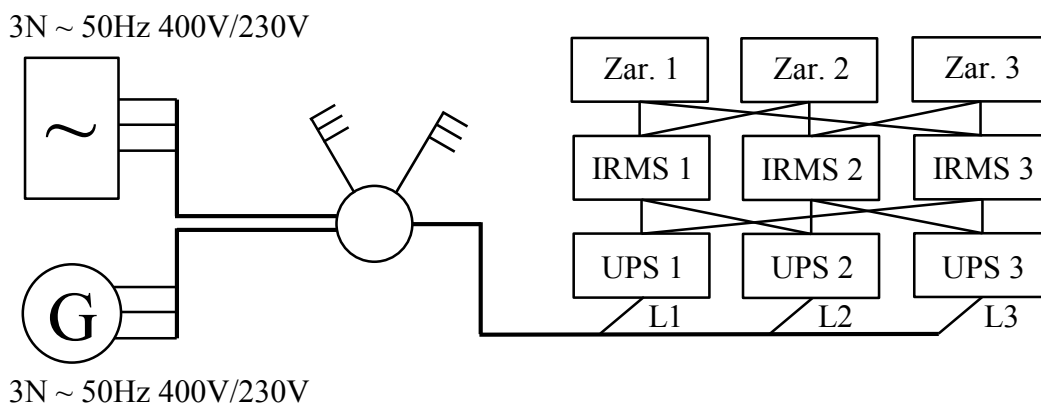
Okrem obsahu je potrebné monitorovať aj samostatné zariadenia. Monitorovanie zariadení realizuje NMS. Tento NMS sever bude mať za úlohu monitorovať, konfigurovať, informovať, logovať a udržiavať históriu v prehľadnej forme. Na monitorovanie zariadení sa často používa SNMP. Na ich konfiguráciu je tiež možné používať SNMP protokol, tiež je možné používať HTTP(Hypertext Transfer Protocol) a výmenou XML (Extensible Markup Language) konfiguračných súborov.

Pri konfigurácii si najprv tím expertov musí konfiguráciu pripraviť, uložiť, zálohovať a následne ju integrovať do automatiky NMS. NMS vie takýmto spôsobom riadiť redundanciu N+1 alebo M+N. Pri zariadeniach s redundanciou 1+1 nie je potrebné integrovať vkladanie konfigurácie do NMS.

## 2.11 Riešenie vzduchotechniky a napájania

Zo strany vzduchotechniky sa musí jednať o systém, ktorý udržiava stálu teplotu v stojanoch okolo  $17^{\circ}\text{C}$  a zabezpečil odstránenie prachových častíc zo vzduchu. Na hasenie je vhodné použiť plyn, ktorý neobsahuje kyslík a je schopný oheň uhasiť. V takomto prípade musí byť prerušená dodávka vzduchu. Podporované je ale cirkulovanie vzduchu v rámci miestnosti jeho ochladzovaním. Na detekciu požiaru sa zvyknú používať prachové detektory.

Napájanie elektrickou energiou je kritické pre všetky typy zariadení. Na lokalite headendu sa preto počíta s 3 – fázovou sústavou od dodávateľa el. energie. Na zabezpečenie prípadných výpadkov je potrebné sieť zálohovať generátorom a UPS (Uninterruptible Power



Obrázok 2.8: Schéma distribúcie el. energie

s automatizovaným systémom na prepínanie medzi napájaním z elektrickej siete a generátorom. Takýto systém pri výpadku el. energie počká napríklad 2 minúty, ak nebola obnovená dodávka el. prúdu začína so štartom generátora, po jeho príprave prepína na zdroj el. energie z generátora. Prepnutie prebieha v 2 krokoch. V prvom kroku odpojí pripojenie vonkajšej siete. V tomto štádiu počká napríklad 2 sekundy a následne prepája na generátor. Po obnovení dodávky el. energie z el. siete opätovne počká nastavený čas, napríklad 2 minúty. Po detekcii 2 minút s dostupnosťou el. siete prepína späť na napájanie z elektrickej siete. Prepnutie je tiež realizované dvomi krokmi v opačnom smere (Jedná sa o a prepínač s medzi-polohou). Takáto automatika má vlastné napájanie z batérii. Ďalším krokom sú UPS. Tieto poskytujú napájanie v dobe, kedy nie je dostupný zdroj el. energie zo siete, alebo generátora. Ich obrovskou výhodou je nepretržitý výstup napájania, vďaka ktorému zariadenia za nimi nebudú detegovať výpadok el. energie. Za UPS je vhodné vložiť IRMS (Intelligent Redundant Multi Switch), takéto zariadenie môže mať viacero vstupov (prepne na inú UPS v prípade jej výpadku) a viacero výstupov. Tieto výstupy môže aktivovať alebo deaktivovať. Takýmto spôsobom sa dá reštartovať zariadenie na ktoré sa nie je možné pripojiť alebo nereaguje. Posledným krokom je samotné pripojenie zariadenia, to je ideálne realizovať redundantným zdrojom a každý zdroj z iného IRMS pre vyváženie fáz sa potom takéto redundantné zdroje dajú premiestniť na inú fázu. Schému zapojenia naznačujúci 3 rôzne zariadenia pripojené do takejto siete nájdete na Obrázok 2.8: Schéma distribúcie el. energie.



### 3 Prieskum trhu a návrh možných riešení DVB-T2

DVB technológia sa stále vyvíja a prichádzajú nové spoločnosti s novými produktovými radami a nové produkty starých spoločností. Preto je pomerne náročné vybrať správny produkt. Ideálne je si raz ročne prejsť všetky novinky na niektorej z výstav určených pre televíznu techniku. Dobrým príkladom je IBC (International Broadcast Conference) alebo NAB Show (National Association of Broadcasters Show). Na takýchto výstavách je možné oboznámiť sa s ponukou, dohodnúť si sedenie s obchodníkmi, často stretnúť aj vývojárov a majiteľov. Viacero výrobcov ponúka aj výpožičky technológie na testy. Zopár takých výpožičiek bolo realizovaných za účelom poskytnúť čo najlepšie riešenie, podľa aktuálnej ponuky. Pri návrhu sa tiež dbalo na odporúčania technikov v odbore a ich skúsenosti so zariadeniami, tiež sme sa pozreli na zariadenia ktoré neprešli veľkým vývojom a teda je možné použiť rovnaké modely ako sú aktuálne používané v existujúcich riešeniach.

#### 3.1 Distribúcia a monitoring SDI

Aj keď sa predpokladá postupný ústup SDI z vysielania, stále existuje a bude sa dlho používať hlavne na strane televíznej techniky. Ako hlavná alternatíva bolo vybrané multifunkčné pole Platimun™ MX vo verzii 5U od spoločnosti Imagine Communication Corp. Hlavným dôvodom pre výber bolo jeho nasadenie v Českej televízii a dobrej skúsenosti v rámci Digital Broadcasting s.r.o.. Jeho hlavnými výhodami sú: [11]

- v 5U verzii je schopné prepínať 72 vstupov na 64 výstupov
- možnosť vloženia kariet na distribúciu signálu SDI
- možnosť vloženia kariet na monitorovanie SDI
- podpora optického vstupu pre SDI
- vnútorná redundancia zdrojov, riadenia, prepínacích kariet
- detekcia SDI a možné riešenie automatiky
- SNMP monitoring a riadenie

Na Obrázok 3.1: Ukážka možnosti konfigurácie Platinum™ MX [11] sa nachádza ukážková možnosť konfigurácie. Na ľavej strane sú vstupné karty BNC SDI, SDI cez optiku a Analógové vstupy pre audio. Na pravej strane sa nachádzajú výstupy, optické karty boli vyradené, v rámci headendu sa signály presúvajú len na krátku vzdialenosť. Na pravej strane sa tiež nachádza monitorovacia karta, v spodnej časti je vidno rozšírenie monitoringu, prepínacích kariet ako aj riadiacich kariet.



Obrázok 3.1: Ukážka možnosti konfigurácie Platinum<sup>TM</sup> MX [11]

Možné alternatívy: Kramer CORE<sup>TM</sup>, Extron Electronics FOX Matrix 720 a mnoho ďalších.

### 3.2 Kompresia/prekódovanie signálu

Kompresia signálu je jeden z najpodstatnejších krokov v rámci headendu multiplexu. V tomto bode sa vytvára finálny obrázok a to je to, čo divák najviac hodnotí. Pri DVB-T2 sa nám situácia trochu zjednodušuje nástupom HEVC. Počas písania tejto diplomovej práce sa na trhu nenachádza veľa výrobcov, ktorí sú schopní pracovať s HEVC a živým signálom. Bohužiaľ žiaden nemá plne funkčnú a pripravenú štatistickú multiplexáciu. Zdôvodnenia prečo prezentovať spoločnosť ATEME ako dodávateľa tejto zložky sú:

- Pôsobenie na českom trhu a implementácia v existujúcich multiplexoch
- Doladenie formátu pre koncové zariadenia používané a schválené v rámci Českej republiky
- Expandujúca firma ktorá sa nebojí zaviazat' na dokončenie HEVC štatistickej multiplexácie do konca roka 2015
- Dobré profesionálne vzťahy medzi dodávateľom a Digital Broadcasting s.r.o.

Z ich produktovej rady sú vhodné enkodéry Kyrion AM2102. Ich použitie je vhodné na vzdialené pracoviská ako sú regionálne televízie. Do headendu je vhodný produkt TITAN Live. Bolo by na mieste extra vyzdvihnúť možnosť IP vstupu a prevádzanie štatistickej multiplexácie práve na tomto vstupe. Jeho hlavnými výhodami sú: [12]

- Možnosť ekódovania až 360 SDTV alebo 90 HDTV, podpora UHD TV
- Podpora všetkých požadovaných audio a video štandardov
- Možný SDI nekomprimovaný vstup a IP komprimovaný vstup
- Vnútoraná redundancia zdrojov, riadiacich jednotiek, sieťových prvkov
- Vnútoraná redundancia M+N enkodovacích kariet a zdieľanie vstupov SDI
- Možnosť redundantného SDI vstupu
- Štatistická multiplexácia pre MPEG2, H.264 a pripravuje sa HEVC
- SNMP monitoring a riadenie, SOAP/XML riadenie



Obrázok 3.2: Ateme TITAN [12]

Vhodné varianty sú Harmonic ProStream 9100 with ACE, Thomson Video Networks' ViBE™ VS7000 a iné.

Za audio enkóder bol zvolený Cisco D9036 Modular Encoding Platform. Je schopný enkódovať až 16 rádii súčasne, čo umožňuje regionalizáciu rádii. Ako náhrada sa dá použiť Prodys ProntoNet.

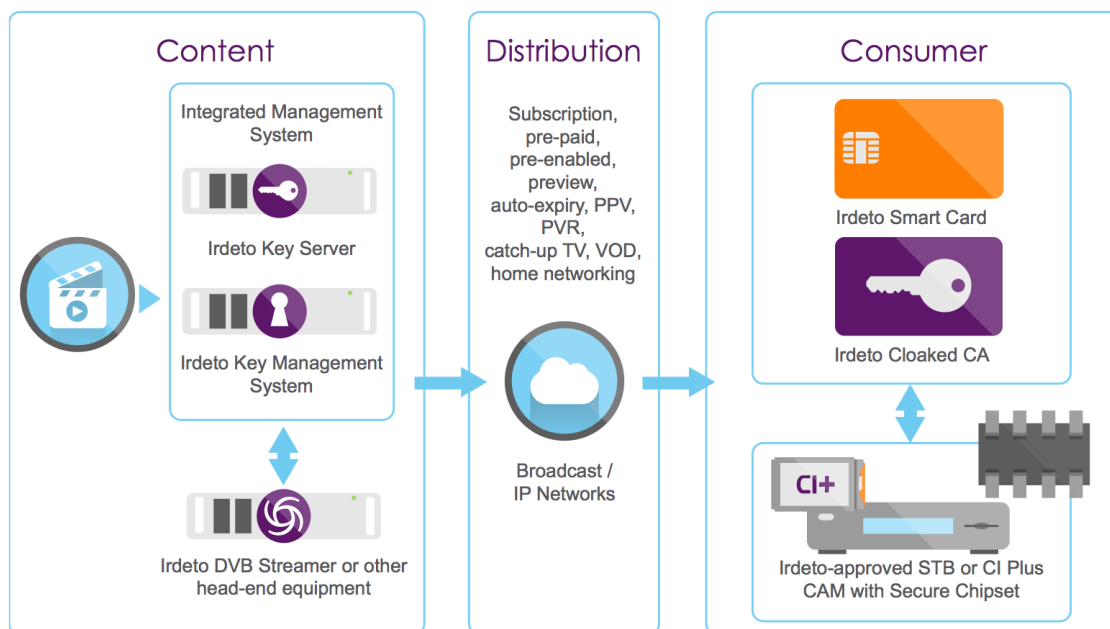
### 3.3 DVB-SI, EPG a HbbTV

Na generáciu sprievodných dát bol vybraný produkt Sundial spoločnosti Barrowa. Jeho hlavnou výhodou je možnosť IP vstupu pre EPG. Tento IP vstup je možné vkladať na multiplexeri, no výhodou spracovania je úprava dátového toku na konštantnú úroveň. Je možné stanoviť aj úroveň dátového toku, takýmto nastavením zmeníme statickú dĺžku opakovania na dynamickú EPG. Barrowa Sundial zahrňuje aj HbbTV karusel umožňujúci prehrávanie HbbTV aplikácií ako aj len odkazov na online umiestnené aplikácie. Pretože sa jedná o softwarové riešenie bude potrebné doplniť hardware, vhodný výber je HP Prolight DL120 G9. Redundancia je riešenia 1+1, čo znamená zdvojenie hardware a licencia na redundanciu. Ako variantu by som spomenul Icareus DVB-SI odbavovací software, alebo vloženie zásuvného modulu od multiplexeru Ateme MC3100. [13][14]

### 3.4 Podmienенý prístup

Na riešenie podmieneného prístupu bol vybraný Irdeto Conditional Access. Dôvodom pre výber Irdeto je ich veľká prax v DVB-T2 podmienenom prístupe v rámci Európy a viacnásobné

odporúčanie od výrobcov multiplexerov. Irdeto je tiež používané v Slovenskej republike pre DVB-T vysielanie. Ako spôsob redundancie je vhodné použiť hardwarové riešenie 1+1 a rozšírenú licenciu o redundanciu. Podmienены prístup je realizačný pomocou dvoch serverov s umiestnením software od spoločnosti Irdeto. Ako hardware serverov je možné znovu použiť HP Prolight DL120 G9. [15]

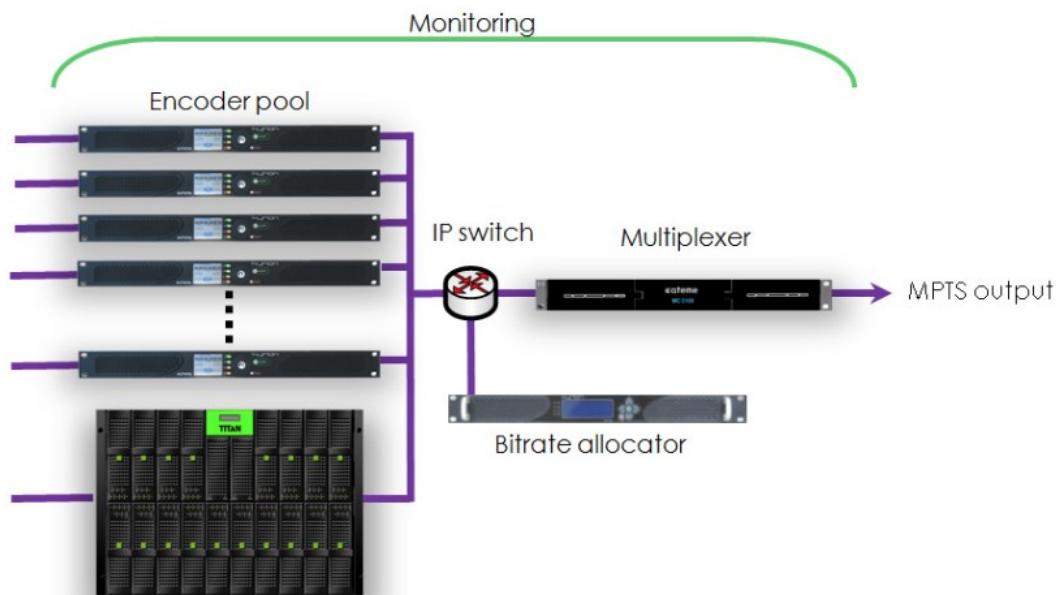


Obrázok 3.3: Irdeto Conditional Access [15]

### 3.5 Multiplexácia

Multiplexácia je miesto, kde sa stretávajú všetky dátové toky a pripravuje sa MPEG-TS obsahujúci kompletný obsah. Za týmto účelom bol zvolený Ateame MC3100. Tento multiplexer obsahuje štandardne požadované funkcie multiplexera. Pri jeho aplikácii bude potrebné zabezpečiť redundanciu 1+1. Výber z vlastností MC3100: [16]

- Až do 800 Mbit/s – schopné vytvoriť 14 regiónov + celoplošný multiplex
- ASI a IP vstupy, elektrické aj optické
- Vnútna redundancia zdrojov, sieťových prvkov aj kariet určených na spracovanie dátového toku
- Podpora štatistickej multiplexácie
- Prevedenie 1U alebo 4U
- SNMP monitoring a riadenie, SOAP/XML riadenie
- Podporuje ďalšie karty ako napríklad:
  - DVB-SI generátor
  - DVB-T2 GW
  - DVB-T2 modulátor
  - ASI vstupy / výstupy

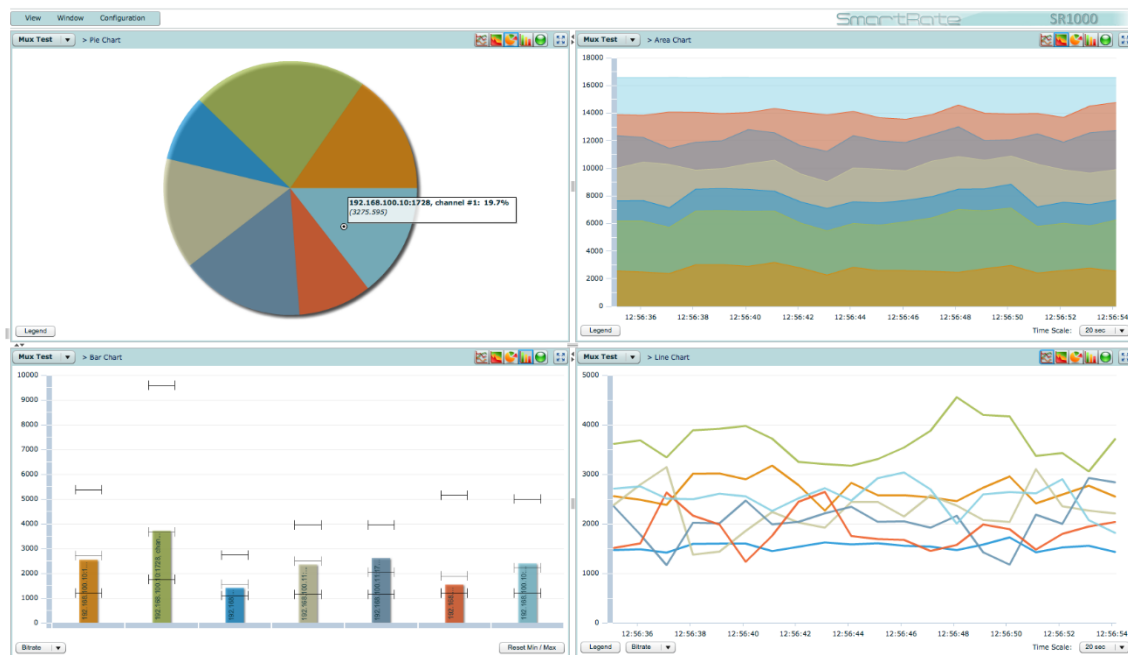


Obrázek 1.2: Obrázok 3.4: Zapojenie štatistickej multiplexácie Ateame [17]

Ako varianty by som spomenul Thomson Flexstream 2.0, Cisco DCM Series D9902 a mnoho ďalších.

### 3.6 Štatistická multiplexácia

Špecifické zariadenie pre štatistickú multiplexáciu by v tomto riešení bolo Ateame SR1000. Kombinácia multiplexeru, statmuxeru a enkóderu/transkóderu od jedného výrobcu je podstatná. Takýmto spôsobom je možné minimalizovať nevyužitý dátový tok na minimum. Takýto celok dokáže výrazne ušetriť dátový tok, čo sa prejaví v zvýšení kvality obrazu alebo počtu kanálov v jednom multiplexe. Práve táto štatistická multiplexácia bola hlavným dôvodom na vybratie spoločnosti Ateame ako dodávateľa pre taký vysoký počet zariadení. Na riešenie bude potrebné použiť redundanciu 1+1. Produkt zahŕňa podporu SNMP a SOAP/XML. Na Obrázok 3.4: Zapojenie štatistickej multiplexácie Ateame [17] je ako celkový dátový tok, je konštantný, ale jednotlivé programy majú dynamický dátový tok. Tento dátový tok je pridelovaný na základe zložitosti obrazu a pridelenej priority/kvality programu. [17]



Obrázek 1.3: Obrázok 3.5: Ukážka štatistickej multiplexácie siedmich TV programov

### 3.7 DVB-T2 GW a SFN Adaptácia

SFN adaptáciu je potrebné časovo synchronizovať, no z praxe sa zistilo, že existuje len veľmi malý počet výrobcov integrovaných GPS, ktorí dokážu dodávať správne dátové značky aj po krátkodobom výpadku príjmu GPS.

na tento účel je vhodné zariadenie Meinberg GPS180. Je používané aj v aktuálnych systémoch. Hlavné vlastnosti: [18]

- Modulárny systém
- Vnútoraná kompletná redundancia
- Server na časovú synchronizáciu
- Mnoho násobný výstup 1PPS a 10Mhz
- Schopnosť držať presný čas aj po výpadku GPS  
Synchronizácia pulzu lepšia než  $\pm 100$  nsec po 20 minútach výpadku
- Medzi-frekvencia na prenos signálu z antény do zariadenia
- SNMP monitoring

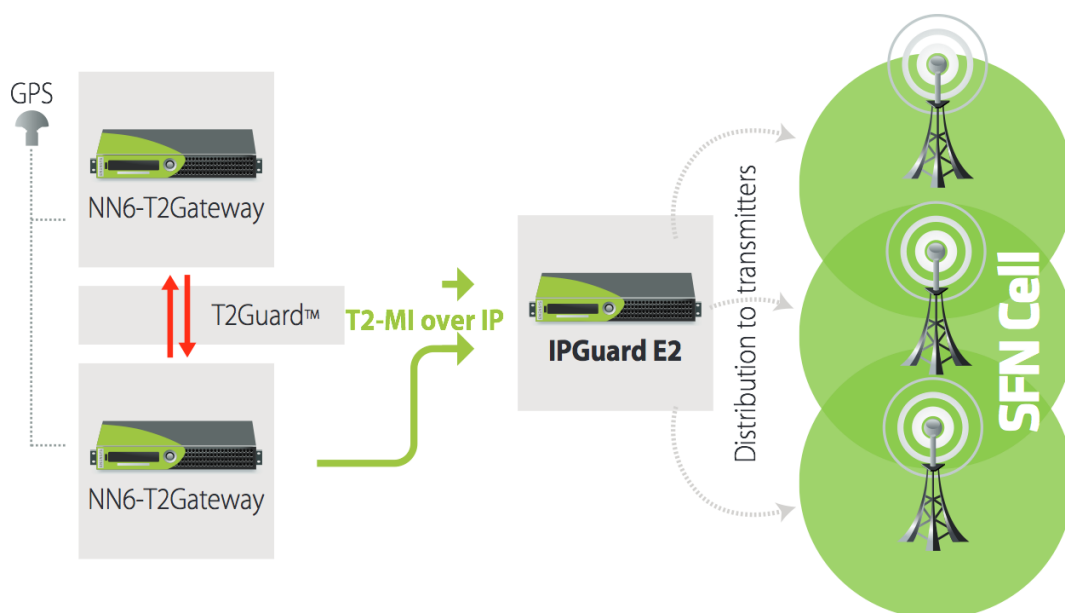
Ako nehradnú variantu je možné použiť Spectracom Epsilon Clock™ Model EC22S. Nedopúča sa používať vstavané GPS prijímače do vysielačov alebo SFN adaptérov.

Ďalším bodom je samotná T2-GW. Na trhu sa nachádza obrovský počet výrobcov. Veľa z nich integruje systémy Enensys do svojich produktov ako zásuvné karty. Za základe skúsenosti s produktmi spoločnosti Enensys, bol vybraný ich priamy produkt NN6-T2Gateway ako T2-GW na toto riešenie. Nejedná sa o integrovanú kartu do multiplexeru no ponúka obrovskú stabilitu a dlhoročnú funkčnosť bez výpadkov. Na realizáciu budeme potrebovať 2 aktívne zariadenia.

Zariadenia je vhodné umiestniť do redundancie 1+1. Enesys IPGuard na riešenie prepnutia redundancie. Hlavné výhody tohto produktu: [19]

- Prepnutie redundancie bez zaznamenania poruchy na nasledujúcom zariadení
- 8 Multiplexov súčasne
- ASI a IP vstupy/výstupy
- SFN Adaptácia
- Adresácia vysielateľov
- Viacnásobné T2-MI a PLP, statické aj dynamické
- Základe monitorovanie dátového toku
- SNMP monitoring

Náhradnou variantou je karta do multiplexeru



Obrázek 1.4: Obrázok 3.6: Riešenie redundancie T2-GW [19]

### 3.8 IP infraštruktúra

Pre sieť určenú na administráciu bol vybraný komerčný prepínač Cisco SF200-48 10/100Mbit/s. Pretože sa jedná o administratívnu sieť, nie je potrebné zakupovať zariadenie s vysokou priepustnosťou, vypadnutie takéhoto prepínača nespôsobí výpadok vysielania no môže ohroziť monitorovanie a prepínanie redundancie.

Pre prenos dátových tokov bude potrebné investovať do kvalitného prepínača s rýchlosťou aspoň 1Gbit/s, ideálne by bola možnosť vloženia SFP (Small Form-Factor Pluggable Transceiver) s 10Gb/s pre hlavné kontribučné a distribučné trasy. Za týmto účelom bol vybraný

WS-C2960S-48FPD-L. Jeho výhodou je možnosť vloženie 10Gb/s SFP pre distribučné a kontribučné trasy. Ďalej umožňuje rozdeliť sieť do rôznych VPN, týmto spôsobom je možné mať všetky siete určené na prenos streamu pod jedným zariadením. Riešenie pod jedným zariadením sa však nedoporučuje. Na zvýšenie dostupnosti bola vybraná redundancia 1+1.

### 3.9 Monitorovanie obsahu

V neposlednom rade je potrebné zabezpečiť pre dohľad headendu jednoduchý systém na monitorovania obsahu. Takýto dohľad z praxe nie je schopný monitorovať viacero kanálov a kontrolovať, či bežia v poriadku. Pre monitorovací systém bola vybraná Izraelská spoločnosť TAGvs. Ich produkt MCM-9000 nebol vybraný len z dôvodu dobrých funkcií ale aj zo skúsenosti s touto spoločnosťou. Táto spoločnosť má vynikajúcu podporu, v prípade požiadavky na dodanie novej funkčnosti monitorovacieho systému sa jedná doslova o jednotky dní. Ak bola nájdená porucha v systéme, ich reakčná doba je enormná. Systém je jednoducho presúvateľný medzi hardware prenosom USB s licenciou. Medzi hlavné monitorovanie prvky patrí: [20]

- Odosielanie SNMP, Syslog, Emailov
- Buffer obsahu a možné uloženie pred začiatkom chyby a po ukončení chyby na FTP (File Transfer Protocol) alebo zdieľaný server.
- Obrazové notifikácie na jednotlivých kanáloch, hlasové upozornenie na poruchu
- Rôzne nastavenia rôznych úrovní porúch, rôznych agentov na emaily na základe úrovne porúch a možnosť meniť poruchy pre jednotlivé kanály/streamy
- Výber monitorovaných vlastností streamu:  
chýbajúci vstup, chyba synchronizácie, zmena zdrojovej adresy a portu, chyby identifikátorov postupnosti pre jednotlivé PID, zmena dátového toku mimo nastavené hranice, chyba PCR (Program Clock Reference)
- Výber monitorovaných vlastností videa:  
Blokované frame, označenie farieb, dátový tok, zmrznutý obrázok, zmrznutý obrázok s logom, počet snímkov, detekcia čiernej obrazovky, správnosť použitej komprimácia, chýbajúci vstup
- Výber monitorovaných vlastností audia:  
Chýbajúce audio, ticho, testovacia frekvencia, hlasitosť špičiek, krátkodobú a dlhodobú integrovanú hlasitosť, chyba kanálov, ticho na niektorom z kanálov
- Príklad ďalších monitorovaných vlastností:  
Kontrola tabuliek: PAT, PMT, CAT, SDT, BAT, EIT, NIT, TDT, TOT a ďalšie  
Kontrola elektronického sprievodcu, zobrazenie tituliek a teletextu, identifikátory vkladania regionálnych vstupov



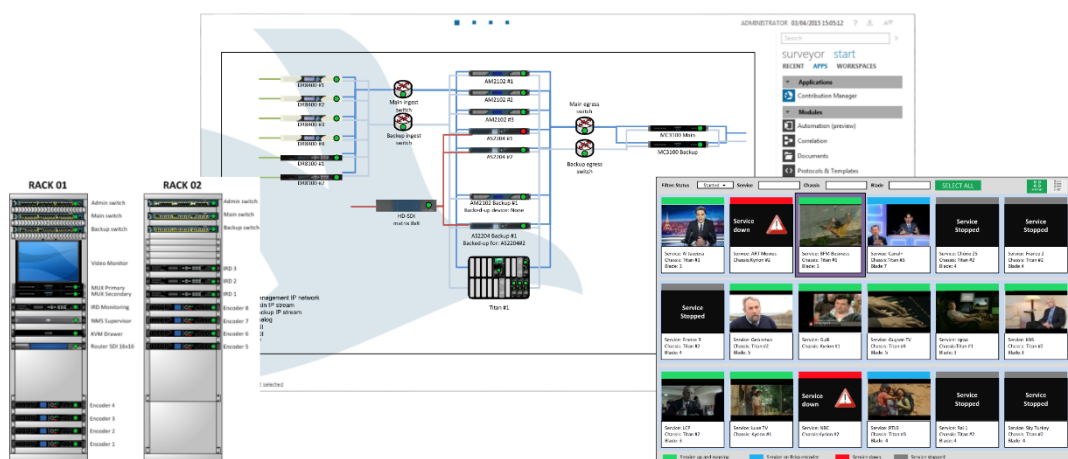


Obrázok 3.7: Ukážka mozaiky monitorovacieho systému MCM 9000

Okrem monitorovania streamu je potrebné monitorovať aj SDI, SDI monitoring bol spomenutý v 2.9 Monitorovanie obsahu. Ako náhradný variant sa dá spomenúť Tektronix IPM400A alebo Vision 247 SuperVision.

### 3.10 Monitoring zariadení

Monitorovanie ešte neskončilo a okrem obsahu je potrebné monitorovať aj samotné zariadenia. Na monitorovanie zariadení bude potrebný SNMP agent a systém na logovanie, a oznamovanie porúch. Produkt Dataminer spoločnosti Skyline je používaný po celom svete a udržuje sa ako špička na trhu. Umožňuje SNMP, ale aj výmenu XML, riadenie redundancie, odosielanie poruchových hlášok. Do jedného takéhoto systému sa dá integrovať všetko od kontribučných zariadení na strane televízie alebo rádia až po monitorovaciu jednotku v domácnostiach. Vybrali sme redundanciu v podobe 2+1. Pretože sa jedná o softwarové riešenie bude potrebné doplniť hardware, vhodný výber je HP Prolight DL360 G9. Vhodnými variantami sú Alstom, IBM IT operation and network management, ale aj OpenNMS. [21]



Obrázok 3.8: Ukážka virtualizácie jednoduchého headendu v Skyline Dataminer [21]

### 3.11 Riešenie napájania

Ako UPS zariadenia boli vybrané APC Smart-UPS RT 3000VA Rack-mount XL on-line. Pre každú jednu fázu bude potrebná samostatná UPS. Jej hlavnou výhodou je možnosť monitorovania cez IP. Ako náhradné riešenie je možné použiť rôznych výrobcov profesionálnych záložných zdrojov a podobnou kapacitou batérie. Generátor je dobré riešiť dlhodobým prenájomom s kompletným servisom on niektorej z lokálnych firiem. Takýmto spôsobom oni zaručujú za funkčnosť a dobrý stav generátora. Požiadavky sú automatický štart a prevzatie napájania, IP monitoring, ideálne SNMP. Vhodné nastavenie pre generátor je štart po 2 minútach výpadku siete, po naštartovaní prepnutie napájania na generátor. Pri obnovení elektrickej siete ostať na generátore po dobu ďalších 2 minút.

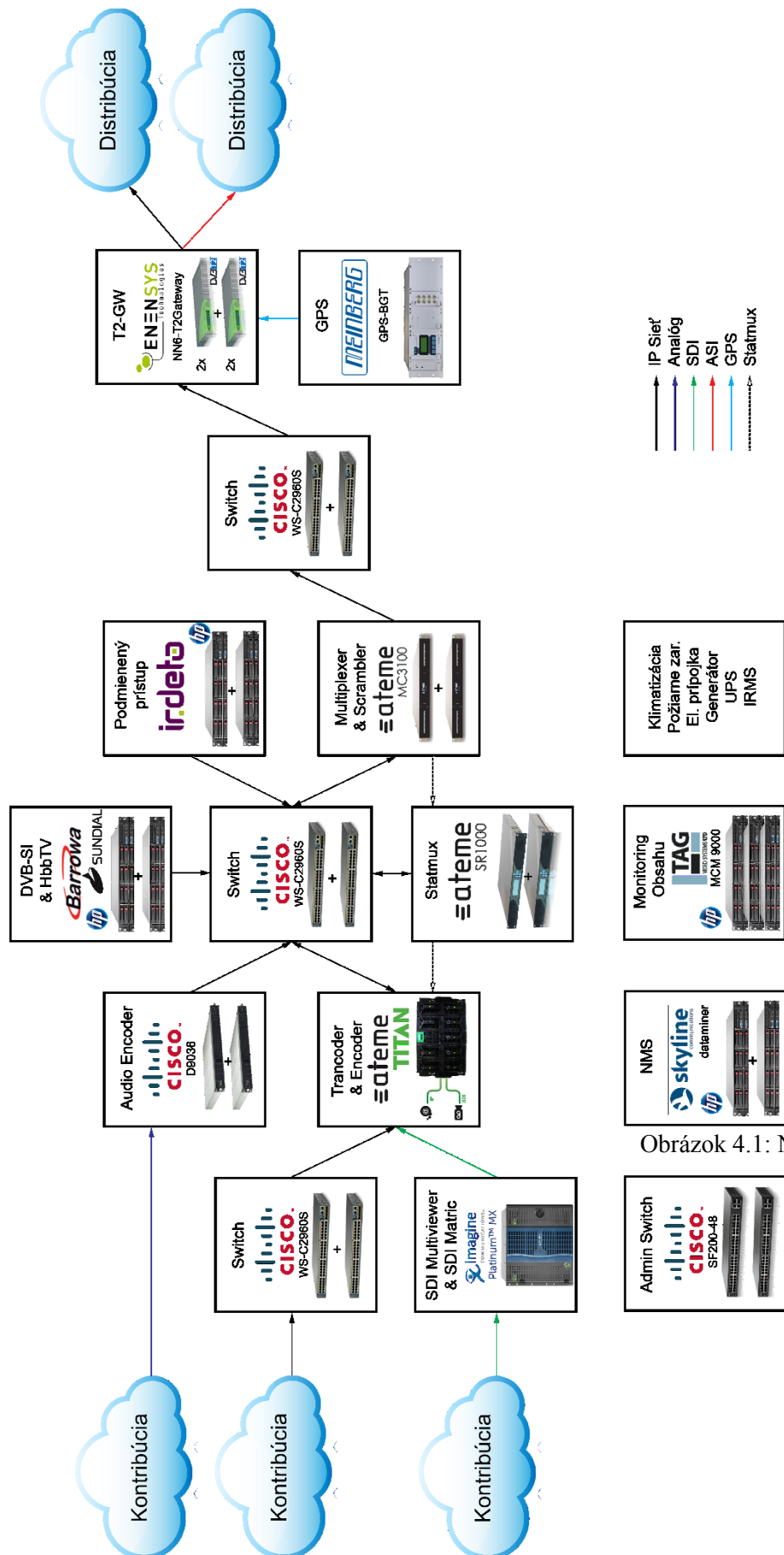
## 4 Vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov

Finálnu podobu schémy zapojenia aj s vložením konkrétnych produktov sa nachádza na Obrázok 4.1: Návrh realizácie. Na ľavej strane obrázku sú viditeľné možnosti príjmu rôznej prichádzajú do audio kompresora Cisco D9306 a následne pokračujú do IP infraštruktúry určenej na prenos audio a video signálov. Cisco D9306 umožňuje spracovávať dostatočný počet rádiových staníc a za účelmi redundancie bol pridaný totožný audio kompresor. Na prepínanie a monitoring vstupných video signálov z kompresie bola vybraná SDI matica Platinum™ MX, ktorá umožňuje prepínanie aj monitoring v jednom šasi a súčasne zabezpečuje vnútornú redundanciu. Výstupné SDI video signály z tejto matice sa stretávajú s IP kontribučnými trasami pre video v Ate me Titan kompresore. Ate me Titan kompresor poskytuje mocnosť kompresie aj prekódovania video a audio signálov. Jeho ďalšou výhodou je možnosť kompresie HEVC, ktorá umožňuje výrazné ušetrenie dátového toku. Samotné zariadenie je modulárne a s použitím správnej konfigurácie obsahuje vnútornú redundanciu. Maximálny výkon takéhoto zariadenia presahuje požiadavky na takýto headend a preto nebude plne obsadený výpočtovými kartami. Do budúcnosti je teda možné rozšíriť zariadenie o ďalšie výpočtové karty. Výstup je umiestnený do IP infraštruktúry určenej na prenos videa a audia v rámci headendu.

O generáciu sprievodných tabuliek DVB SI a HbbTV sa stará Barrowa Sundial. Jedná sa o softwarové riešenie, ako hardware bol zvolený server HP DL120. Za účelom zvýšenia dostupnosti bola zvolená redundancia 1+1. Trend televízneho vysielania smeruje k platenej televízii, na tento účel slúži podmienený prístup spoločnosti Irdeto. Tiež sa jedná o softwarové riešenie umiestnené na serveri HP DL120. Irdeto plne spolupracuje s multiplexerom Ate me MC3100, ktorý pre neho zabezpečí šifrovanie obsahu. O samotnú multiplexáciu sa stará multiplexer Ate me MC3100. Jeho zdrojom signálu sú IP multicasty dodávané do IP infraštruktúry. Tento multiplexer vypočíta voľné miesto v dátovom toku, túto informáciu ďalej predá štatistickému multiplexeru Ate me SR1000, ktorý prideli dátový tok jednotlivým video kanálom na základe ich priority a komplikovanosti obrázku. Štatistická multiplexáciu nám umožňuje ušetriť ďalší dátový tok.

Poskladaný dátový tok vstupuje do Enensys NN6-T2Gateway. Kapacita jednotlivého zariadenia nie je postačujúca na pokrytie požiadaviek regionalizácie, preto je potrebné dodať zariadenia dva. Za účelom redundancie bol zvolený model 1+1 (2+2). Výstupom je ASI alebo IP multicast do distribúcie. Presný zdroj času zaručujú moduly spoločnosti Meinberg GPS180 so vstavanou vnútornou redundanciou a medzi-frekvenciou medzi prijímačom a anténou.

Na monitorovanie zariadení bol zvolený systém Skyline Dataminer, na monitorovanie obsahu TAG MCM9000 na serveroch HP DL120 alebo HP DL360. Základom IP infraštruktúry sú použité spoľahlivé prepínače Cisco. Súčasťou návrhu je zabezpečenie napájania el. energie chránené UPS a generátorom a ďalšie technické aspekty ako napríklad klimatizácia.



Obrázok 4.1: Návrh realizácie

Cieľom tejto práce bolo navrhnutie headendu pre DVB-T2 vysielanie v rámci Českej republiky. V bode 2.1 Požiadavky na realizáciu sme si stanovili požiadavky, ktoré má riešenie umožňovať. Návrh umožňuje:

- Možnosť vstupu SDI(optické alebo metalické) a IP signálov
- Monitoring SDI vstupu a IP streamov
- Možnosť kompresie video: MPEG-2, H.264 a HEVC,
- Možnosť kompresie audio: MPEG-1, AAC, Dolby Digital
- Kapacitu kompresie presahujúcu požiadavky stanovené v bode 2.1 Požiadavky na realizáciu
- Možnosť vkladania už komprimovaného signálu pre regionálne televízie
- Štatistická multiplexácia pre celoplošné kanály
- Generácia DVB-SI s možnosťou IP vstupu, korekcie dátového toku a zmeny rýchlosti opakovania sprievodných dát
- HbbTV karusel aj možnosť vloženia pripraveného HbbTV streamu priamo do multiplexeru
- Podmienенý prístup
- Multiplexácia až do 800Mbit/s umožňuje mať celoplošné aj racionalizované vysielanie
- SFN adaptácia
- Možnosť odovzdať výstupný signál headendu na ASI alebo IP rozhraní v minimálne 2 konektoroch
- Zálohovanie elektrického napájania UPS a generátorom
- Monitorovanie všetkých zariadení headendu
- Technológia odpovedá normám a odporúčaniam pre Českú republiku

Z navrhnutých bodov vyplýva, že návrh bol realizovaný s ohľadom na aktuálne potreby a požiadavky kladené na moderný headend, všetky ciele sa podarilo naplniť. Z prieskumu trhu sa zistilo, že niektoré požiadavky boli na hranici aktuálnych technických možností, napríklad štatistická multiplexácia HEVC kompresie. Aj pre tento problém bolo po komunikácii s výrobcami nájdené riešenie, ktoré bude v najbližšej dobe uvedené do bežnej praxe.

## Záver

Existuje veľa riešení ako postaviť headend pre DVB-T2 vysielanie. Na trhu sa nachádzajú spoločnosti ktoré ponúkajú kompletne riešenie ako aj riešenie jednotlivých častí vysielacieho uzla pre DVB-T2 vysielanie. V tejto práci bola navrhnutá realizácia headendu postavená z jednotlivých konkrétnych častí a výrobcov s vysokou špecializáciou. Takto postavený headend poskytuje vysokú funkcionálnosť, kvalitu a dostupnosť služby.

Návrh Headendu sa realizoval postupne s dôkladným zvážením každého kroku. Na zreteli bola najmä kvalita, vysoká dostupnosť služby a bezporuchový stav vhodný pre vysielanie 24 hodín denne. Headend bol navrhnutý tak, aby podporoval komprimačnú technológiu HEVC, ktorá sa v rámci Českej republiky stala požiadavkou pre DVB-T2 prijímacie zariadenia. Headend zahŕňa moderné technológie ako je štatistickú multiplexáciu na zvýšenie kvality obrazu alebo počtu kanálov. Okrem televíznych staníc je headend schopný pracovať s rádiovými stanicami. Na základe aktuálnej situácie v zahraničí, bola implementovaná možnosť podmieneného prístupu. Veľkou výhodou headendu je aj možnosť regionalizovať obsah a týmto spôsobom priniesť divákovi/poslucháčovi informácie z regiónu v ktorom sa nachádza. Headend nie je pripravený len na SFN adaptáciu a multi PLP štruktúru, no súčasne umožňuje predávanie signálu na vysielace na rôznych prídavných rozhraniach.

Pri výbere konkrétnych zariadení sa pozeralo na ich aplikáciu v aktuálnom prostredí Českej republiky, ako aj zahraničia, dokumentáciu a osobné skúsenosti. Za účelom získať podrobný prehľad bola navštívená konferencia IBC a dohodnuté osobné stretnutia s obchodnými zástupcami výrobcov.

Pred realizáciu headendu je vhodná dôkladná konzultácia so zastúpením výrobcov, prípadne test zariadení. Uvedený návrh headendu sa do budúcnosti bude ďalej meniť podľa stavu trhu a ponuky výrobcov. Headend môže byť postupne rozšírený o nové a nepoužívané technológie. Niektoré prvky môžu byť vymenené od iných výrobcov. Ďalšou variantnou rozšírenia je expanzia do iných oblastí vysielania, ako sú DVB-C2, DVB-S2, IPTV, ďalšia DVB-T2 sieť a poskytovanie iných televíznych alebo rádiových služieb. Dá sa predpokladať úplný prechod na IP predávacie rozhrania. Navrhnutý headend bude použitý ako jeden z variant pre potencionálne budúce riešenia spoločnosti Digital broadcasting s.r.o.

## Použitá literatura

- [1] FISCHER Walter.: Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A practical Engineering Guide. 3. vydanie, Springer Heidelberg Dordrecht London New York: 2010, ISBN 978-3-642-11611-7.
- [2] ETSI EN 300 468, Verzia: 1.14.1 (2015-05) Dostupné z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/300400\\_300499/300468/01.14.01\\_60/en\\_300468v011401p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300468/01.14.01_60/en_300468v011401p.pdf)
- [3] ETSI TS 102 809, Verzia: 1.2.1 (2013-07) Dostupné z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102800\\_102899/102809/01.02.01\\_60/ts\\_102809v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/102809/01.02.01_60/ts_102809v010201p.pdf)
- [4] HbbTV aplikace České televize, Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/hbbtv/>
- [5] LEGÍŇ, Martin.: Televizní technika DVB-T. In BEN-technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, ISBN 80-7300-204-3.
- [6] McCann Ken, Mattei Adriana : Technical Evolution of the DTT Platform, Verzia 1.3, Dostupné z: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/uhf-strategy/zetacast.pdf>
- [7] Radiokomunikace 2014, Pardubice 2014, ISBN 978-80-905345-4-4.
- [8] General overview of DVB T2 standard, Dostupné z: <http://www.enensys.com/technologies/dvb-t2-overview.html>
- [9] Jak funguje DVB-T, Dostupné z: <http://www.digizone.cz/specialy/jak-funguje-dvb-t/>
- [10] Čím se liší standard DVB-T2 od dnešního DVB-T? Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/cim-se-lisi-standard-dvb-t2-od-dnesniho-dvb-t/>
- [11] Imagine Communications Corp. Platinum™ MX, Dostupné z: <http://www.imaginecommunications.com/products/networking/routers/platinum-mx>
- [12] Ateame TITAN Live, Dostupné z: <http://ateme.com/en/products/Distribution-Encoders/titan-live>
- [13] Barrowa Sundial , Dostupné z: <http://www.barrowa.com/EPG-DVB-SI-Generator-solutions.htm>
- [14] HP ProLiant DL120 Gen9 Server, Dostupné z: <http://www8.hp.com/cz/cs/products/proliant-servers/product-detail.html?oid=7481826>
- [15] Irdeto Conditional Access, Dostupné z: [http://www.irdeto.com/documents/Collateral/so\\_cas\\_cas\\_en.pdf](http://www.irdeto.com/documents/Collateral/so_cas_cas_en.pdf)

- [16] Ateame MC3100, Dostupné z:  
<http://ateme.com/en/products/video-multiplexer/video-multiplexer-mc-3100>
- [17] Ateame SR1000, Dostupné z:  
<http://ateme.com/en/products/video-multiplexer/video-multiplexer-sr-1000>
- [18] Meinberg GPS180, Dostupné z:  
<https://www.meinbergglobal.com/english/products/gps-systems.htm>
- [19] Enensys NN6-T2Gateway, Dostupné z:  
<http://www.enensys.com/products/t2-gateway.html>
- [20] TAG VS MCM-9000, Dostupné z:  
<http://www.tagvs.com/>
- [21] Skyline Dataminer, Dostupné z:  
<http://www.skyline.be/dataminer>